Tiefbohrungen nach dem Rotaryverfahren mit Dieselmotoren als Antrieb

mit einem Anhang über die

Verwendung von Dieselmotoren für Bohrstationen und -Pumpstationen.

Von der

Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Erich Sirot

aus Klein-Gandau bei Breslau.

Referent:
o. Prof. Dr.-Ing. W. Groß.

Korreferent:
Dozent Dr.-Ing. Wagener.

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Dezember 1932.

Verlag: Hans Urban, Wien, XVIII., Gersthoferstraße 70.

Druck: Gustav Kübart, Wien VII., Kaiserstraße 65.

*20212

Dank.

Für die Anregung zu dieser Arbeit, viel mehr aber für die stete Förderung und liebenswürdige Unterstützung möchte ich hiermit

Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Groß

meinen verbindlichsten Dank sagen.

Ueber Tiefbohrungen nach dem Rotaryverfahren mit Dieselmotoren als Antrieb.

Mit einem Anhang: Ueber die Verwendung von Dieselmotoren für Kraftstationen und Erdölleitungs-Pumpstationen.

Dissertation von Diplom-Ingenieur Erich Sirot. (Die wissenschaftlichen Untersuchungen für diese Arbeit wurden im Institut für Bergbaukunde und Aufbereitung, Direktor o. Prof. Dr. Ing. W. Groß, der Technischen Hochschule in Breslau ausgeführt.)

Vorwort:

Während die Verwendung von Dieselmotoren auf anderen Verwendungsgebieten schon drei Jahrzehnte lang mit steigendem Erfolge durchgeführt wird, und ihre Anwendung als Antriebsmittel für die Stoßbohrverfahren seit vielen Jahren sich gut bewährt hat, ist die Benutzung dieser Motoren für das Rotaryverfahren erst vor wenigen Jahren zum ersten Mal erfolgt. Die seitdem erzielten Ergebnisse können als gut bezeichnet werden und rechtfertigen die Ansicht, daß dieses Antriebsmittel in Zukunft weitere Verbreitung finden wird.

Die von anderen Antriebsmitteln — Dampfmaschine und Elektromotor, Gasmaschine und Vergasermotor — in verschiedenen Punkten abweichenden Arbeitsbedingungen des Dieselmotors machen eine Aenderung des bei jenen Maschinen üblichen Aufbaues der Antriebsvorrichtung nötig, worauf die bisher nur beschränkte Verwendung der Dieselmotoren zurückzuführen ist.

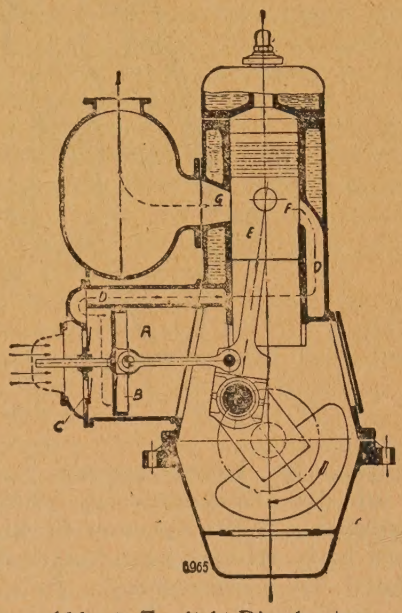


Abb. 1 Zweitakt-Dieselmotor mit Spülpumpe.

DER DIESELMOTOR.

Entwicklung.

Die auf eine Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrades der Verbrennungsmotoren durch Erhöhung der Kompression gerichteten Arbeiten Rudolf Diesels führten 1897 zur ersten Ausführung eines Dieselmotors, der durch die Verwendung der billigen Oele als Treibstoff eine hohe Wirtschaftlichkeit versprach. Lange Zeit hinderte jedoch der zur Brennstoffzufuhr anfangs dienende Kompressor eine weitere Verbreitung, da er die Maschine komplizierte, den Preis sehr erhöhte und die Regelung erschwerte. Die Versuche seines Ersatzes durch ein einfacheres Organ ergaben die ersten kompressorlosen Motoren mit Stufenkolben. Diese praktisch noch unbrauchbaren Maschinen regten zur Ausbildung der kompressorlosen Vorkammermotoren an, die die erste zweckmäßige Form darstellen und nach weiterer Ausgestaltung noch heute gebaut und verwendet werden. Gleichzeitig mit dem Vorkammerverfahren erfolgte die Ausbildung des Druckeinspritzverfahrens mit gesteuerter Brennstoffdüse. Aus ihr gelang 1923 die Entwicklung des Strahleinspritzverfahrens mit sich selbst steuernder Düse. Damit war der dritte wichtige Schritt in der Entwicklung des Dieselmotors getan.

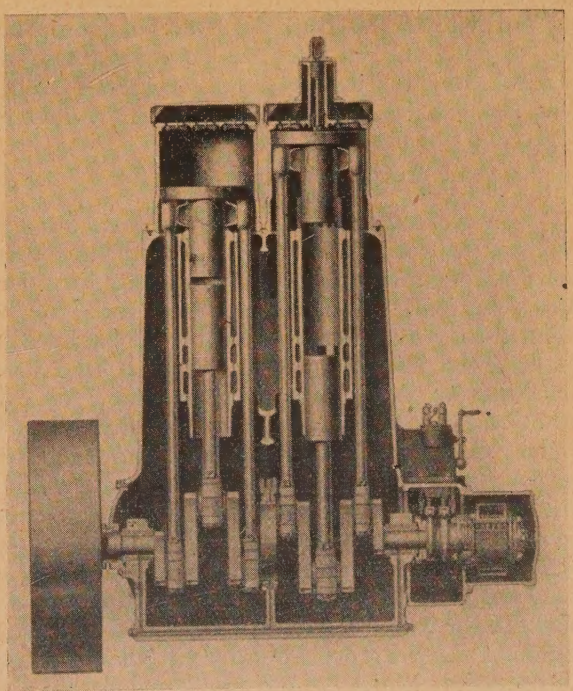


Abb. 2. Zweitakt-Gegenkolben-Dieselmotor.

Die Verwendung des Dieselmotors blieb nicht

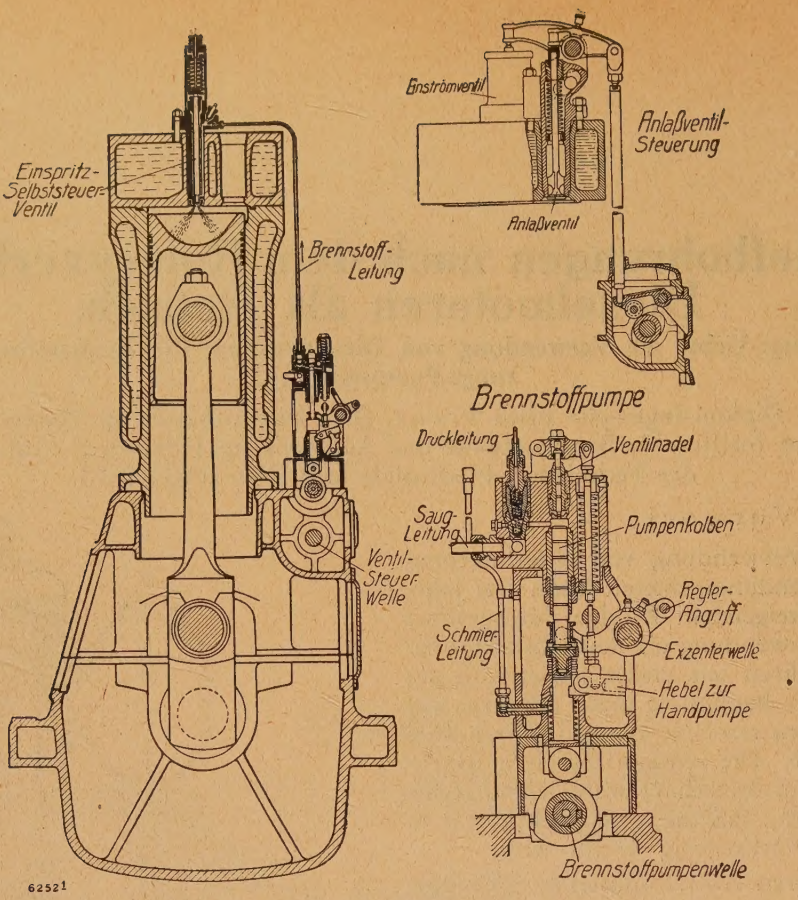


Abb. 3. Viertakt-Dieselmotor.

auf die stationäre Krafterzeugung beschränkt. Nachdem sich der Dieselmotor als Schiffsantrieb trotz mannigfacher Schwierigkeiten als sehr geeignet erwiesen hatte, erfolgte seine Ausgestaltung als Antriebsmittel für Landfahrzeuge. Neben seiner steigenden Verbreitung im Eisenbahnbetrieb ist die fortschreitende Verwendung als Automobilmotor beachtenswert. Sogar als Flugzeugmotor erwies er sich besonders durch die Ungefährlichkeit des Brennstoffes zweckmäßig. Der Dieselmotor ist also schon heute in alle Anwendungsgebiete der Kraftmaschinen eingedrungen. Ueberall führte seine hohe Wirtschaftlichkeit zu einem vollen Erfolge.

Wesen des Dieselmotors.

Sein Kennzeichen ist im besonderen die Verwendung schwerer, flüssiger Brennstoffe und deren Entzündung durch die im Zylinder komprimierte Luft. Während bei den Vergasermotoren die als Brennstoff verwendeten, leichter verdampfenden Flüssigkeiten (Benzin, Benzol, Spiritus und deren Gemische) in einem Vergaser zerstäubt, mit der zur Verbrennung nötigen Luft gemischt und als fertiges Gas-Luft-Gemisch in den Zylinder gesaugt werden, in dem sie komprimiert und mittels elektrischen Funkens entzündet werden, ist dies bei den schwer verdampfenden Oelen für den Dieselmotor nicht angängig. Zu ihrer Zerstäubung ist der Aufwand von Druck und Wärme nötig. Von dem Dieselmotor wird nur Luft angesaugt und komprimiert. Der Brennstoff wird in die durch die Kompression erhitzte Luft eingespritzt, die ihn entzündet. Diese Art der Zündung sichert eine schnelle, restlose und gleichmäßige Verbrennung und ergibt den hohen thermischen Wirkungsgrad.

Von den Vergasermotoren unterscheidet den Dieselmotor die Notwendigkeit einer Einrichtung zur Brennstoffzufuhr und das Wegfallen des Vergasers und der Zündeinrichtung und der in diesen Einrichtungen auch bei sorgsamer Wartung liegenden Störungsquellen.

Arbeitsverfahren und Bauarten.

Als Arbeitsverfahren sind das Zweitakt- oder das Viertaktverfahren anwendbar.

Bei dem Zweitaktverfahren, Abbildung 1, saugt ein mit dem Arbeitskolben verbundener Luftkolben die Luft beim Abwärtsgang des Kolbens an und komprimiert sie bei dessen Aufwärtsgang. Der in der unteren Totpunktlage befindliche Kolben gibt in dem Zylinder seitliche Schlitze frei, durch die die Luft in den Zylinder eintritt. Der aufwärts gehende Kolben komprimiert die Luft. Kurz vor Erreichen der oberen Kolbenendlage wird der Brennstoff in den Zylinder gespritzt. Er verbrennt mit der hochkomprimierten Luft und treibt den Kolben abwärts. Kurz vor Erreichen der unteren Endlage gibt der Kolben Schlitze im Zylinder frei, durch die die von dem Luftkolben vorkomprimierte Luft eintritt und die verbrannten Gase durch gegenüber liegende Schlitze ausdrückt.

Bei kleineren Motoren wird oft an Stelle des beschriebenen Luftkolbens der Arbeitskolben selbst benützt, der die Luft in den Kurbelraum saugt und hier schwach komprimiert, ein Verfahren, das keine restlose Beseitigung der verbrannten Gase zuläßt und deshalb bei größeren Motoren zu un-

wirtschaftlichen Ergebnissen führen würde. Derartige Zweitaktmotoren mit und ohne Spülluftpumpe werden i. a. nur für kleinere Leistungen bis 100 PS gebaut.

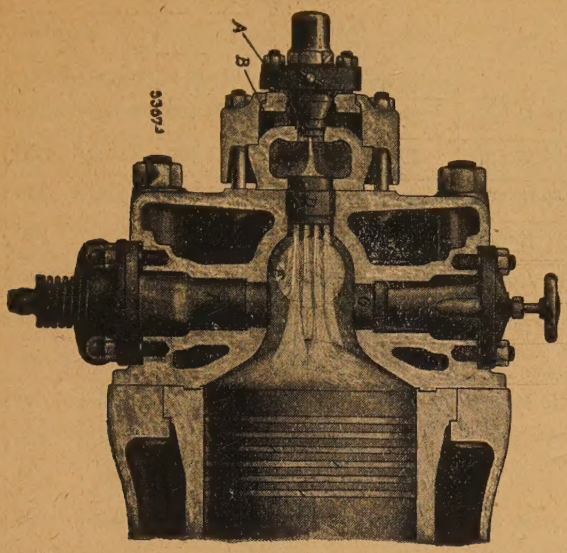


Abb. 4. Zylinderkopf: Vorkammer-Dieselmotor.

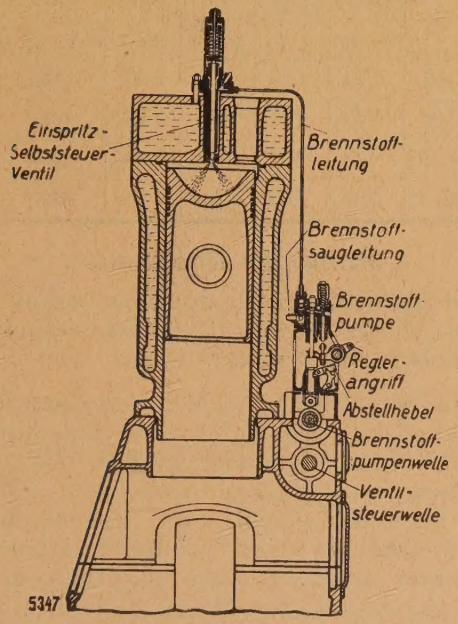


Abb. 5. Zylinderkopf: Strahleinspritz-Dieselmotor.

Eine Abwandlung dieses Verfahrens stellt das Junkers-Zweitakt-Gegenkolbenverfahren dar, das schematisch in der Abbildung 2 wiedergegeben ist. Bei ihm arbeiten zwei Arbeitskolben in dem Zylinder gegenläufig, d. h. die Kolben werden beim Arbeitshub auseinander getrieben und komprimieren die Luft bei dem ersten Takte dadurch, daß sie sich auf einander zu bewegen. Zum Spülen dient der Luftkolben, der mit dem oberen Arbeitskolben direkt verbunden ist. Die Zufuhr des Brennstoffes erfolgt durch eine Brennstoffpumpe mit etwa 600 at. Dieser Motor kann bei gleichem Zylinderdurchmesser die doppelte Leistung des zuerst beschriebenen Motors entwickeln. Ein weiterer Vorteil ist die geringere Anzahl der Teile und die Entlastung der Kurbelwellenlager von den hohen Explosionsdrücken, die nur innerhalb der Kurbelwelle zur Auswirkung kommen. Motoren dieser Bauart werden auch in Leistungsgrößen von mehreren 100 PS bei meist nur zwei Zylindern gebaut.

Für größere Motoren wird allgemein das Viertaktverfahren benutzt (Abbildung 3). Bei ihm saugt der Kolben bei dem ersten Takte durch ein Ventil reine Luft an, komprimiert sie bei dem zweiten Takte, kurz vor dessen Beendigung der Brennstoff zugeführt wird, der sogleich sich entzündet und verbrennt. Der Kolben wird dadurch bei dem dritten Takte nach abwärts getrieben. Der vierte Takt dient zum Auslassen der verbrannten Gase.

Die Wirtschaftlichkeit der genannten Verfahren ergibt sich aus folgenden Gesichtspunkten: Das Zweitaktverfahren ermöglicht durch die bei gleicher Drehzahl doppelte Anzahl der Arbeitstakte gegenüber dem Viertaktverfahren eine Verminderung der Zylinderabmessungen und erübrigt die Ventile und deren Betätigungsmechanismus. Dieser Ersparnis stehen die Kosten der Spülpumpe, der niedrigere Wirkungsgrad und die durch die Pumpe erzwungene niedrigere Drehzahl, die wieder eine Vergrößerung der Motorabmessungen bewirkt, gegenüber. Nur für kleinere Motoren ohne Spülpumpe ergibt das Zweitaktverfahren durch niedrigere Anschaffungskosten eine geringe wirtschaftliche Ueberlegenheit.

Zur Brennstoffzufuhr diente bei den ersten Dieselmotoren Preßluft, die von einem mehrstufigen Kompressor erzeugt wird, der jedoch die Anschaffungskosten erhöht, die Regelung erschwert und einen nicht unerheblichen Teil der Motorleistung verzehrt. Diese Kompressormotoren werden heute i. a. nicht mehr gebaut. Sie wurden abgelöst durch die kompressorlosen Motoren, bei denen die Brennstoffzufuhr durch eine Brennstoffpumpe erfolgt. Die Zerstäubung des flüssigen Brennstoffes erfolgt in einer Vorkammer oder durch Düsenwirkung.

Bei dem in Abbildung 4 dargestellten Vorkammerverfahren wird der Brennstoff unter 60 bis 70 at Druck in eine vor dem Zylinder gelegene und mit ihm durch einen engen Kanal verbundene Vorkammer gedrückt, wo durch die Kompression der Luft eine Vorverbrennung eingeleitet wird. Diese erhöht den Druck und treibt den Brennstoff aus der Vorkammer in den Zylinder, wo er durch die Wärme der komprimierten Luft zerstäubt und verbrennt.

Bei dem Strahleinspritzverfahren, Abbildung 5, wird der Brennstoff unter c. 300 at Druck und mehr durch die Einspritzdüse, der eine Mehrlochplatte vorgebaut ist, in den Zylinder gepreßt. Durch die feinen Oeffnungen der Düsenplatte wird eine Zerstäubung des flüssigen Brennstoffes erzielt, der darauf durch die Hitze der komprimierten Luft zur Entzündung kommt.

Diese beiden Verfahren werden heute allgemein angewendet und sind ungefähr gleichwertig. Das Vorkammerverfahren bietet den Vorteil, daß die Brennstoffpumpe einen wesentlich niedrigeren Druck aufzubringen hat und dadurch billiger ist. Diese Verbilligung ist jedoch gegenüber den Kosten für die übrigen Teile des Motors unwesentlich, seitdem es durch die Verwendung hochwertiger Werkstoffe möglich ist, betriebssichere,

kleine Pumpen herzustellen. Nachteilig ist bei dem Vorkammerverfahren, daß zum Anlassen aus dem kalten Zustand oft Hilfszündvorrichtungen, Zündpatronen oder Glimmstifte, betätigt werden müssen, durch die der Anlaßvorgang erschwert und kompliziert wird.

Die Dieselmotoren werden in stehender oder liegender Bauart hergestellt. Die liegende Bauart wird nur bei ein- oder zweizylindrigen Motoren angewandt, wo sie den Vorteil leichter Ueberwachung aller Teile und einfachen Ausbaus ermöglicht. Motoren mit mehr als zwei Zylindern werden stets in stehender Bauart ausgeführt, die geringeren Platzbedarf und geringere Abnützung der bewegten Teile ergibt.

Die Zylinderzahl steigt mit der Leistung, doch ist ein zahlenmäßiger Zusammenhang nicht möglich. Die Steigerung der Zylinderzahl bringt ruhigeren Lauf durch die gleichmäßigere Leistungsentwicklung, da die Arbeitshübe sich schneller wiederholen. Auch werden die bewegten Teile kleiner und leichter und damit ihr Ausbau einfacher und billiger. Dem steht als Nachteil der höhere Preis wegen der größeren Anzahl der Teile gegenüber. Die Verwendung weniger Zylinder erfordert größere Schwungräder, um die Leistungsabgabe möglichst gleichmäßig zu gestalten. Der weniger ruhige Lauf der Motoren mit wenigen, aber größeren Zylindern macht eine schwere Aufstellung und teurere Gründung notwendig.

Für die Drehzahlen können Normalwerte ebenfalls nicht angegeben werden. Die langsam laufenden Motoren bedingen größere Zylinderabmessungen, ergeben aber eine geringere Abnützung der bewegten Teile. Die schneller laufenden Motoren sind im Gewicht leichter und erfordern weniger Platz.

Zusammenfassend ergibt sich, daß die Dieselmotoren in verschiedenen Ausführungen hergestellt werden. Die Auswahl der zweckmäßigsten, wirtschaftlichsten Ausführung ist nur auf Grund der vorliegenden Betriebsverhältnisse durchführbar, wobei oft mehrere Lösungen möglich sind. Dies gilt auch für den Bohrbetrieb, für den sich eine allgemeine Norm nicht aufstellen läßt. Den bisherigen Erfahrungen nach eignen sich für ihn die beiden folgenden Ausführungen am besten:

1) Viertaktmotoren mit Strahleinspritzung in stehender Bauart mit vier bis sechs Zylindern und zwischen 500 und 800 U/min liegenden Drehzahlen.

2) Zweitakt-Gegenkolben-Motoren mit Druckeinspritzung in stehender Bauart mit zwei Zylindern und Drehzahlen zwischen 300 und 400 U/min.

Um einen allgemeinen Anhalt über die Ausführungsform, die Leistung, das Gewicht, die Drehzahl, und die Hauptabmessungen normaler Dieselmotoren zu geben, ist die folgende Tabelle 1 angefügt. Sie kann nur einen kleinen Ausschnitt aus der großen Reihe der üblichen Motoren bieten, ist jedoch mit Rücksicht auf den Bohrbetrieb ausgewählt.

Tabelle 1.

Angaben über ortsfeste Dieselmotoren.

A. Zweitakt-Gegenkolben-Dieselmotoren (Druckeinspritzung) (Junkers)

Typ	Leistung	Drehzahl	Zylinderzahl	Gewicht	Abmessungen		
	Ne in PS	i. d. Min.		netto kg	Länge	Breite	Höhe
1 H K 160	60	375	1	3 500	3 210	1 370	2 430
2 H K 130	70	450	2	3 400	2 910	800	1 990
2 H K 160	120	375	2	4 900	3 350	950	2 380
2 H K 200	180	300	2	7 200	3 900	1 180	2 950

B. Viertakt-Dieselmotoren (Vorkammer) (Deutzmotoren)

Typ	Leistung	Drehzahl	Zylinderzahl	Gewicht	Abmessungen		
	Ne in PS	i. d. Mjn		netto kg	Länge	Breite	Höhe
A 3 M 120	55	750	3	2 500	3 700	750	1 390
A 4 M 120	75	750	4	2 800	4 000	750	1 390
A 4 M 124	100	600	4	4 000	4 350	870	1 570
A 6 M 124	150	600	6	5 000	4 950	870	1 570

C. Viertakt-Dieselmotoren (Strahleinspritzung) (M.A.N.)

Typ	Leistung	Drehzahl	Zylinderzahl	Gewicht	Abmessungen		Preis
	Ne in PS	i. d Min		netto kg	Bohrung	Hub	RM.
W 4 V 16	70	620	4	2 800	165	220	9 500
W 6 V 16	120	720	6	3 400	165	220	12 000
G 4 Vu. 33	170	600	4	6 500	220	330	15 000
G 5 Vu. 33	200	550	5	7 400	220	330	17 000

Betrieb des Dieselmotors.

Als Betriebsstoff für den Dieselmotor sind im besonderen der Brennstoff, das Schmiermittel und das Kühlwasser anzusehen.

Als Brennstoff können die schweren Oele aus der Destillation des Erdöls, der Braunkohle und der Steinkohle verwendet werden. Die wichtigsten Brennstoffe allgemein sind Gasöl, Paraffinöl, einige Steinkohlenteeröle, wie das Anthrazenöl, das Kreosotöl u. a., die bei der Steinkohlenteerdestillation anfallen, sowie die flüssigen Rückstände der Erdöle, wie Masut, fuel oil u. a.

Der Verwendung von Roherdölen ist nicht ohne weiteres durchführbar. Physikalische Prüfungen allein können kein zuverlässiges Bild über die Eignung ergeben, und es ist deshalb nicht zu umgehen, vor der Verwendung des Roherdöls „motorische Prüfungen" durchzuführen. Sie bestehen in genau überwachten und durch Messungen festgestellten Probeläufen in besonders dazu eingerichteten Laboratorien und werden von allen größeren Herstellerfirmen für Dieselmotoren durchgeführt.

Trotz der Bedeutung der Probeläufe ist es von Vorteil, über die wichtigsten physikalischen Eigenschaften der Treiböle unterrichtet zu sein, um bei notwendig werdendem schnellem Brennstoffwechsel das neue Treiböl auf seine Eignung wenigstens ungefähr prüfen zu können.

Der Gehalt an Wasser soll möglichst 1 % nicht überschreiten. Der Gehalt an unver-

brennbaren Bestandteilen soll äußerst niedrig sein. Während Gas- und Paraffinöl völlig aschefrei hergestellt werden können und nur so verwandt werden sollen, müssen bei rohem Erdöl Rückständen und Steinkohlenteerölen Spuren von Asche in Kauf genommen werden, die jedoch 0,03 bis 0,05 % nicht übersteigen sollen. In Benzin bez. Xyloi unlösliche Bestandteile, hauptsächlich Asphalt, sollen höchstens nur 0,3 % vorhanden sein. Im Gasöl sollen sie überhaupt nicht vorkommen. Der Gehalt an Wasserstoff ist für die Zündfähigkeit maßgebend. Wasserstoffarme Treiböle verlangen zur Einleitung der Zündung besondere Maßnahmen, die im Betrieb äußerst unerwünscht sind. Bei Teeröl soll als Mindestmaß der Wasserstoffgehalt 6 ½ % betragen, bei den übrigen genannten Oelen 11 ½ % betragen. Der Gehalt an Schwefel soll äußerst gering und der an Mineralsäuren praktisch unmeßbar sein. Nur bei den Erdöldestillaten sind Säurereste schwer zu vermeiden, ihre Höchstgrenze ist 0,3 %. Für den Verkokungsrückstand gelten folgende Werte: bei rohem Erdöl höchstens 8 %, bei Gas- und Paraffinöl höchstens 1 % und bei Steinkohlenteeröl höchstens 3.5 %. Die Kältebeständigkeit richtet sich nach den Betriebsverhältnissen. Erwünscht ist eine genügende Flüssigkeit bei minus 5°.

Ueber die weiteren Eigenschaften, das spezifische Gewicht, die Siedegrenzen, die Verdampfbarkeit, den Heizwert und den für die Lagerung wichtigen Flammpunkt, gibt die folgende Tabelle 2 die üblichen Grenzwerte an.

Tabelle 2.

Ölsorte	Spez. Gew.	Siedegrenzen	Verdampfbarkeit	Heizwert Kcal-kg min.	Flammpunkt
Rohes Erdöl	0,73—0,99	250—300°	20% bis 350°	9800	über 65°
Gasöl	0,82—0,91	250—300°	30% bis 350°	9900	über 65°
Rückstände	0,89—0,95	verschieden	20% bis 350°	9700	über 80°
Paraffinöl	0,82—0,92	220—350°	50% bis 300°	10009	45—125°
Steinkohlenteeröl	1,0—1,11	250—350°	75% bis 350°	9200	über 65°

Der Brennstoffverbrauch ist bei den Dieselmotoren sehr gering und beträgt bei neueren Motoren ca. 170 bis 180 g/PS u. St. bei Normallast.

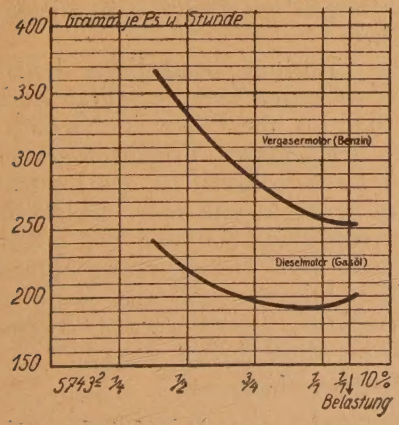


Abb. 6.

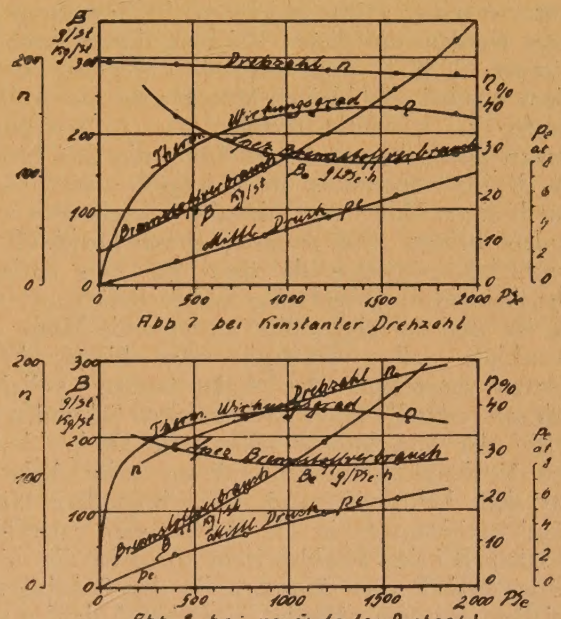
Brennstoffverbrauch bei Diesel- und Vergasermotoren.

Er steigt bei Unter- und Ueberbelastung nur wenig an. Die Abbildung 6 zeigt den Brennstoffverbrauch normaler Dieselmotoren bei verschiedener Belastung. Hierauf wird noch eingegangen.

Als Schmiermittel dienen die handelsüblichen Dieselmotorschmieröle. Der Verbrauch beträgt 2,5 bis 3 g/PS u. Std. bei Normallast und behält diesen Wert bei verschiedener Belastung recht genau inne.

Als Kühlwasser soll möglichst reines, weiches Wasser verwendet werden, um Verunreinigungen der Kühlmäntel und dadurch bedingte Verschlechterung der Kühlwirkung zu vermeiden. Um eine dauernde Reinigung frischen Wassers zu ersparen, wird bei größeren Motoren eine Umlaufkühlung angewandt. Sie erspart zugleich die Beschaffung neuen Wassers und verbilligt dadurch den Betrieb. Die Anschaffungskosten für das Kühlsystem werden bald durch Einsparungen in den Betriebskosten ausgeglichen. Die Größe dieser Einrichtung und der Wasserverbrauch zur einmaligen Auffüllung hängt von den klimatischen Verhältnissen ab.

Einen Ueberblick über das Arbeitsvermögen eines Motors bei verschiedenen Belastungen bietet die Leistungscharakteristik. Sie ist für die verschiedenen Ausführungsarten der Dieselmotoren nicht völlig gleich, doch sind die Unterschiede nicht erheblich.



Untersuchungsergebnisse eines Dieselmotors.

Abb. 7 und 8.

Die Abbildungen 7 und 8 geben die Untersuchungsergebnisse an einem normalen Dieselmotor wieder. Die Abbildung 7 zeigt den Zusammenhang von Drehzahl, Leistung, Brennstoffverbrauch und Wirkungsgrad bei konstanter Drehzahl und Aenderung der Belastung. Die Motordrehzahl ist durch einen Regler konstant gehalten. Das Diagramm zeigt den Anstieg des spezifischen Brennstoffverbrauches bei absinkender Belastung. Daraus ergibt sich die entsprechende Senkung des Wirkungsgrades. Die Abbildung 8 gibt den Zusammenhang der Größen bei veränderter Drehzahl wieder. Die Leistung fällt mit sinkender Drehzahl sehr stark ab (bei n = 186 U/min: N = 1575 PS, bei n = 125 U/min : N = 397 PS). Dabei bleibt spez. Brennstoffverbrauch fast gleich. Die Abbildungen zeigen, daß es bei stark schwankendem Betrieb vorteilhaft ist, den Motor von Hand zu re-

geln. Die Regulierung erstreckt sich auf die Leistung der Brennstoffpumpe, d. h. auf die dem Motor zugeführte Brennstoffmenge. Diese Art der Regelung ergibt die hohe Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors bei Leistungsänderungen.

Der hohe thermodynamische Wirkungsgrad des Motors und der bei großer Kraftwirkung sehr niedrige Preis für den Brennstoff ergeben die außerordentlich niedrigen Betriebskosten des Dieselmotors.

Betriebsverhältnisse.

Von der Dampfmaschine und dem Elektromotor unterscheidet den Dieselmotor im Betriebe besonders die Eigenschaft, nicht allein durch Einschalten des Betriebsmittels (bei jenen Dampf, bez. Elektrizität, bei diesem Brennstoff und Luft) in Bewegung zu kommen. Dampf und Elektrizität sind Arbeitsmedien, deren Spannung die Maschine in jeder Stellung zum Anlauf zwingt.

Bei dem Dieselmotor wird jedoch die Spannung des Arbeitsmediums erst durch den laufenden Motor erzeugt, der die Luft so stark komprimiert, daß eine Zündung und Verbrennung der zerstäubten Oele erfolgt. Der Motor muß deshalb erst von einer Hilfsvorrichtung in Bewegung gesetzt werden, um diesen Vorgang durchführen zu können, d. h. er muß angelassen werden. Hierzu dient nur bei sehr kleinen Motoren die menschliche Kraft, bei größeren erfolgt das In-Bewegungsetzen durch komprimierte Luft, die den Motor durch ihre Spannung in Bewegung setzt, oder durch einen Hilfsmotor, der den Dieselmotor zum Anlauf bringt. Das Anlassen durch Druckluft ist wesentlich günstiger, da dazu nur eine einfache Druckeinrichtung und eine leichte Betätigung nötig ist, und der abgestellte, auslaufende Motor die Druckluft selbst erzeugt, sodaß hierfür keine Kosten entstehen. Der Anlaßvorgang vollzieht sich sehr schnell; schon nach wenigen Sekunden erreicht der Dieselmotor seine volle Drehzahl. Bei den Vorkammermotoren müssen beim Anlassen aus dem kalten Zustand meist besondere Hilfszündvorrichtungen in die Vorkammer eingeführt werden. Bei den Strahlspritzmotoren ist dies nicht nötig, weshalb diese Motoren für den Bohrbetrieb, bei dem ein sehr schnelles, einfaches Anlaufen von großer Bedeutung ist, unbedingt vorzuziehen sind.

Für den Betrieb ist weiterhin von Wichtigkeit, daß der Dieselmotor nur in einer Drehrichtung arbeiten kann, wodurch er sich gleichfalls von der Damfmaschine und dem Elektromotor unterscheidet.

Die wichtigsten Vor- und Nachteile des Dieselmotors sind im Folgenden kurz zusammengefaßt. Die Vorteile sind:

1. Die niedrigen Betriebskosten durch Verwendung des billigen, jedoch thermisch hochwertigen Brennstoffes.
2. Die Einfachheit des Aufbaues und der Bedienung.
3. Die schnelle Betriebsbereitschaft durch raschen Anlauf und sehr einfache Inbetriebsetzung.
4. Das Anlassen durch Druckluft, die der Motor kostenlos erzeugt.
5. Das Wegfallen langer teuerer Zuleitungen.
6. Der geringe Raumbedarf zur Lagerung und die Ungefährlichkeit des Brennstoffes.

Die wichtigsten Nachteile sind:

1. Der größere Platzbedarf gegenüber der Dampfmaschine und dem Elektromotor.
2. Das größere Gewicht gegenüber diesen Motoren.
3. Das Unvermögen des Anfahrens unter Last.
4. Die Unfähigkeit des Arbeitens in beiden Drehrichtungen.

Diese Nachteile ergeben eine Erhöhung der Anschaffungskosten, die aber in den meisten Fällen durch die niedrigen Betriebskosten ausgeglichen werden.

Die oben erörterten Punkte gelten naturgemäß auch für den Bohrbetrieb. Ihre Auswirkung auf die Antriebseinrichtung, die bisher errichteten Bohreinrichtungen mit Dieselmotorantrieb und die dabei erzielten Ergebnisse werden im folgenden Kapitel behandelt.

DAS ROTARYVERFAHREN.

Entwicklung.

Die Entwicklung und erste Anwendung des Rotaryverfahrens durch I. F. Lucas im Jahre 1901 bei der Ausführung der Spindle Top-Bohrung bei Beaumont in Texas[1]) sollte die Schwierigkeiten beseitigen, die sich den bis dahin üblichen Stoßbohrverfahren bei der Durchbohrung der sehr mächtigen Sandschichten auf den Bohrfeldern in Texas entgegenstellten. Trotz der befriedigenden Ergebnisse hemmte der schwere, umfangreiche Aufbau der Antriebseinrichtung eine weitere Verbreitung. Erst der durch das Vordringen der Verbrennungsmotoren veranlaßte Anstieg der Erdölbohrtätigkeit vor dem Kriege führte zu einer Ausbreitung des Rotaryverfahrens, das eine schnelle Erreichung großer Tiefen bei weniger harten Schichten, wie sie auf den Oelfeldern besonders Amerikas oft angetroffen werden, ermöglicht. Die Verstärkung und Verbesserung des Antriebs und der Uebertragungsmittel und die Vervollkommnung des Bohrwerkzeugs gestatteten dann auch die Durchbohrung härterer Schichten und ließen das Verfahren in allen Bohrgebieten Eingang finden. Heute hat es besonders für die Erdölbohrtätigkeit eine überragende Stellung gewonnen, werden doch mehr als 80% aller Bohrungen auf Erdöl nach diesem Verfahren ausgeführt.

Gelang so die Erzielung beachtlicher bohrtechnischer Erfolge, so haftet dem Verfahren noch ein wichtiger Nachteil an, die Höhe der Gesamtkosten. Trotz der den anderen Verfahren gegenüber wesentlich kürzeren Bohrzeit ist der Kostenaufwand hier kaum geringer, und es ist erklärlich, daß gerade heute nach einer Senkung der hohen Kosten gestrebt wird. Eine Herabsetzung vorerst wenigstens der Betriebskosten soll die Verwendung der wirtschaftlichen Dieselmotoren erbringen, deren Erörterung diese Arbeit dient.

Antriebsverhältnisse.

Auf die Arbeitsweise des Rotaryverfahrens und den Aufbau der Bohreinrichtung erübrigt sich hier einzugehen.[2]) Es soll nur eine kurze Erörterung der Antriebsverhältnisse, d. h. der Art und Größe, Dauer und Schwankungen der Antriebs-

leistungen hier erfolgen, da ihre Kenntnis für die Wahl der Antriebsmaschinen und den Aufbau der gesamten Einrichtung maßgebend ist.

Die wichtigsten Arbeitsvorgänge während der Bohrtätigkeit sind der eigentliche Bohrvorgang, das Spülen und die Bewegung des Gestänges. Auf sie werden die Maschinenleistungen abgestimmt. Dabei ist zunächst die zeitliche Lage der Vorgänge einander gegenüber zu berücksichtigen. Es erfolgen Bohren und Spülen gleichzeitig, getrennt vom Vorgang der Gestängebewegung. Von letzterem ist nur das Fördern des Gestänges für die Maschinenauswahl von Bedeutung, da der Leistungsbedarf für das Gestängeeinlassen kleiner ist als der für das Gestängeziehen. Eine Betrachtung der Leistungen zeigt folgendes Bild.

Der Leistungsbedarf für den reinen Bohrvorgang ist von sehr vielen Faktoren (Art und Größe des Bohrers, Bohrdruck und -geschwindigkeit, Bohrlochbeschaffenheit, Art, Druck und Geschwindigkeit der Spülung u. a.) abhängig. Eine Leistungsberechnung ist bisher nicht gelungen. Eine Vorausberechnung ist auch schon deshalb oft unmöglich, da die die Leistung maßgebend beeinflussende Art der zu durchbohrenden Schichten nicht bekannt ist. Die Unkenntnis der verlangten Leistung ist jedoch ohne Nachteil, da der Leistungsbedarf für das Gestängeziehen, wie noch gezeigt wird, die Maschinenleistung bestimmt. Von Bedeutung ist dagegen die Drehzahl des Bohrers. Unter normalen Verhältnissen erwies es sich als zweckmäßig, mit einer Drehzahl zwischen 50 und 80 Umdrehungen in der Min. zu bohren, da dieser Bereich mit Rücksicht auf die Bohrerausnützung und zur Vermeidung zu starker Gestängeschwingungen und -beanspruchung der günstigste ist. Besondere Verhältnisse bringen jedoch oft ein starkes Absinken der Bohrerdrehzahl — bis auf wenige Umdrehungen, — wobei die Antriebsmaschine nicht zum Stillstand kommen soll, damit ein Festwerden des Bohrers vermieden wird. Die Antriebsmaschine muß deshalb außerordentlich elastisch und in einem sehr weiten Drehzahlbereich zu arbeiten imstande sein.

Die Berechnung der Antriebsleistung zum Spülen bereitet gleichfalls große Schwierigkeiten wegen der Vielheit der maßgebenden Faktoren (Größe, Tiefe und Beschaffenheit des Bohrloches und der fortleitenden Teile, Art, Druck und Geschwindigdigkeit der Spülung, Beschaffenheit der Schichten u.a.) Für die Berechnung erschwerend ist die besondere Eigenschaft der Spülung, die Versteifung. Ueber ihre Einwirkng auf die Spülleistung ist noch keine Klarheit vorhanden, besonders da hier Bewegungsverhältnisse eine wesentliche Rolle spielen, die für das Bohrloch nicht genau bekannt sind. Ueber das ganze Gebiet der Hydraulik zäher Flüssigkeiten liegen bis heute sehr wenig eindeutige Ermittlungen vor, deren Uebertragung auf die Verhältnisse im Bohrloch nur durch Beobachtungen im Bohrbetriebe zu vorläufigen Ergebnissen führen kann. Eine Berechnung, die zum Teil ganz neue Wege geht, wurde vor kurzem von dem Amerikaner Herrick[3]) auf Grund von Untersuchungen auf dem Kettleman-Hills-Felde aufgestellt. Es muß erst nachgeprüft werden, in welcher Weise durch die auf anderen Feldern bei anderen Bohrungen abweichenden Verhältnisse die aufgestellten Formeln eine Abänderung erfahren müssen.

Es bestehen folgende Anhaltswerte: Die Spülgeschwindigkeit soll mit Rücksicht auf das Austragen des Schmandes rund 1 m/sec oder mehr betragen. Die Spülmenge wächst mit dem Bohrlochdurchmesser an und schwankt normal zwischen 100 und 500 l/min und steigt bei sehr großen Löchern bis auf 1000 l/min. Der Spüldruck wächst für je 100 m Tiefe um 1½ bis 2 at an, ist jedoch in sehr starkem Maße von dem verwendeten Gestänge abhängig. Als Antriebsleistung kann annähernd gesetzt werden: für Tiefen bis 500 m: 5 bis 15 PS, für 500 bis 1500 m: 10 bis 45 PS und für Tiefen über 1500 m: 30 bis 80 PS.

Die Bedeutung des Spülvorganges für den Bohrbetrieb und die Gefahr für die ganze Bohrung bei einem Aussetzen der Spülung verlangt das Vorsehen einer genügend großen Leistungsreserve. Sie ist auch deshalb notwendig, da für das Zementieren größere Leistungen verlangt werden.

Der einzig rechnungsmäßig fast genau erfaßbare Vorgang ist das Gestängeziehen. Ueber seine Berechnung s. Steiner[4]) und Krekler[5]).

Die Auswirkung der errechneten oder auf Grund der Erfahrung geschätzten Antriebsleistung auf die Größenwahl der Antriebsmaschinen wird durch den Aufbau der gesamten Einrichtung maßgebend beeinflußt. Es erweist sich bei Antrieb durch Dampfmaschine oder Elektromotor als notwendig oder wenigstens zweckmäßig, für den Antrieb zum Bohren und Spülen zwei Antriebsmaschinen zu verwenden, um ihre Regelung entsprechend dem jeweiligen Leistungsbedarf leichter durchführen zu können. Die Leistungsschwankungen erfolgen bei beiden Vorgängen nicht in gleicher Weise, weshalb die Regelung nur einer Maschine praktische Schwierigkeiten bereiten würde.

Die Abstimmung der Förderleistung, bei der die Wahl der Geschwindigkeit und damit der Leistung an sich freigestellt ist, auf die größte Bohrleistung bedeutet eine so starke Herabsetzung der Fördergeschwindigkeit, daß durch die sich ergebende Verlängerung der Förderzeiten die gesamte Bohrzeit erheblich verlängert würde. Dadurch wäre ein entsprechendes Anwachsen der Lohnkosten und anderer fester Kosten bedingt. Es ist deshalb bei diesen Antriebsmitteln üblich, die Motorenleistung größer zu wählen, als für den Antrieb des Bohrers erforderlich ist.

Die wirtschaftliche Grenzleistung des Bohrmotors ist also bestimmt einerseits durch die Erhöhung der Abschreibung und die geringe Steigerung der Betriebskosten beim Bohren (durch das Arbeiten bei Unterbelastung) bei Wahl einer höheren Maschinenleistung und andererseits durch die Lohn- und Zeitersparnis beim Ziehvorgang.

Eine Möglichkeit der Leistungssteigerung beim Ziehen gegenüber dem Bohren bietet die Ueberlastbarkeit der Antriebsmaschine. Diese Ueberlastung erfolgt nur zeitweilig, da der Ziehvorgang nur in Abständen, die durch mehrere Stunden reiner Bohrarbeit getrennt sind, auftritt, und da auch zwischen dem Fördern der einzelnen Gestängezüge kurze Zeiten für das Abschrauben und Abstellen liegen. Die Bauteile haben also Zeit, sich von der Ueberbeanspruchung zu erholen.

Bei Antrieb mittels Dampfmaschine oder Elektromotor erfolgt somit die Leistungsbestim-

mung der Bohrantriebsmaschine in der Weise, daß sie nach der oben erörterten Grenzleistung bemessen wird, während die Spülantriebsmaschine nach der größten zu erwartenden Leistung dimensioniert wird.

Diese Bestimmung trifft bei Antrieb mit Verbrennungsmotoren nicht zu. Diese verlangen aus später erörterten Gründen die Zwischenschaltung eines Uebertragungssystems. Daraus ergibt sich der Vorteil, daß bei Beibehaltung zweier Antriebsmotoren der Vorgang des Gestängeziehens mit beiden Maschinen durchgeführt werden kann. Die Leistung der Motoren ist hier in folgender Weise bestimmt: Die Motoren müssen als Minimum die zu erwartenden Leistungen beim Bohren bzw. Spülen aufbringen können. Ergibt die Summe beider Leistungen keine genügende Geschwindigkeit beim Ziehen, so sind die Motorenleistungen in dem Maße zu erhöhen, daß der entsprechenden Erhöhung der Anschaffungskosten eine mindestens gleich große Zeit-(Lohn-)ersparnis beim Ziehen als Ausgleich gegenübersteht.

Die Ermittlung der Antriebsleistungen ist also nicht nur vom technischen, sondern auch vom wirtschaftlichen Standpunkt aus durchzuführen. Da hier unter anderem auch die Frage, ob ein sehr häufiges Gestängeziehen zu erwarten ist, eine bedeutende Rolle spielt, kann eine für alle Fälle zutreffende Berechnung nicht angeführt werden. Anhaltswerte liefert die im Kapitel 3 erfolgende Besprechung des Diselmotorantriebes.

Antriebsmittel.

Das erste Antriebsmittel war die Dampfkraft, die noch heute Verwendung findet. Die Dampfmaschine ist durch ihr geringes Gewicht, geringen Platzbedarf, ihre einfache Konstruktion und Bedienung und durch die Möglichkeit einer unmittelbaren Verbindung mit der angetriebenen Maschine für den Bohrbetrieb außerordentlich geeignet. In dem umfangreichen, schweren Aufbau der Dampferzeugungsanlage, ihrer Feuergefährlichkeit und dem hohen Verbrauch an Brennstoff und Wasser, deren Beschaffung oft große Schwierigkeiten bereitet, liegen jedoch erhebliche Nachteile.

Mit der fortschreitenden Elektrizitätswirtschaft drang der Elektromotor auch im Bohrbetrieb vor. Auch er weist die Vorteile leichten Baues, geringen Platzbedarfes und der Möglichkeit einer direkten Verbindung auf. Dem stehen neben den hohen Kosten für die gesamte elektrische Einrichtung die oft beträchtlichen Schwierigkeiten für die Stromzufuhr entgegen. Müssen beim Aufschluß neuer Bohrfelder erst weite Versorgungsleitungen angelegt werden, können deren Anlage- und Unterhaltungskosten die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Antriebes in Frage stellen. Nachteilig ist auch die Unsicherheit des Antriebes, da Störungen bei der Rauheit des Bohrbetriebes kaum völlig zu vermeiden sind, und dabei die größten Gefahren für die Bohrung entstehen. Dies erklärt die Abneigung weiter Fachkreise gegen den elektrischen Antrieb, der zweifellos bei guter Anlage in Gebieten mit ausgedehnten Kraftnetzen die niedrigsten Gesamtkosten fordert.

Auch die Verbrennungsmotoren sind zur Anwendung gekommen. Die durch ihren Betriebsstoff auf Bohrfelder mit schon fördernden, gasreichen Sonden beschränkten Gasmaschinen sind hier sehr wirtschaftlich, da der Betriebsstoff praktisch keine Kosten hervorruft. Die Vergasermotoren haben sich im Bohrbetriebe in noch geringerem Maße eingeführt, da ihr Brennstoff für Anschaffung, Transport und Lagerung erhebliche Kosten macht. Bei beiden Maschinenarten ist die erhöhte Feuersgefahr und die geringe Betriebssicherheit sehr nachteilig. Für Schürfbohrungen sind sie ebenso ungeeignet wie der Elektromotor. Die jüngste Antriebskraft stellt der Dieselmotor dar.

Betriebsbedingungen.

Für die Wirtschaftlichkeit des Bohrbetriebes, ja sogar für die Möglichkeit seiner völligen Durchführung entscheidend sind besonders vier Bedingungen, denen die Antriebseinrichtung entsprechen muß.

Die erste Forderung des Bohrbetriebes ist die Einfachheit der Anlage, ihrer Bedienung und Instandhaltung. Die Möglichkeit einer ständigen Anpassung an die oft sehr schnell sich ändernden Bohrverhältnisse, die Rücksicht auf die Beschäftigung un- oder nur angelernter Leute, auf die möglichen schweren Schädigungen des Betriebes bei Störungen und die Notwendigkeit, wenigstens vorübergehende Instandsetzungen mit den einfachen Mitteln an der Bohrung durchführen zu können, müssen schon bei der Auswahl und Herstellung der Maschinen sorgfältig durchdacht werden.

Als nächste Bedingung ist die Herabsetzung des Gewichtes und Raumbedarfes auf das geringste Maß anzusehen, da sie für die Zeit und Kosten für Transport, Aufstellung und Auswechslung bei Störungen maßgebend ist.

Das dritte Erfordernis ist die leichte, billige und schnelle Beschaffung der Betriebsstoffe. Gefordert werden aus Wirtschaftlichkeitsgründen niedrige Kosten für Anschaffung, Transport und Lagerung, leichte Beschaffung ohne Gefahr von Stockungen in der Zufuhr, geringer Verbrauch und niedrige Gefährlichkeit der Betriebsstoffe.

Als letzter Gesichtspunkt ist die Herabsetzung der Anschaffungskosten und die Erhöhung der Lebensdauer, die niedrige Abschreibung ergeben, zu erstreben.

DER DIESELMOTOR ALS ANTRIEB FÜR DAS ROTARYVERFAHREN.

1. Anordnung der Antriebseinrichtung.

Für den Aufbau der Antriebseinrichtung sind drei Betriebsverhältnisse der Antriebsmaschine von ausschlaggebender Bedeutung, das Anziehvermögen, die Umsteuerbarkeit und die Regelbarkeit.

Hinsichtlich des Anziehvermögens und der Umsteuerbarkeit unterscheidet sich der Dieselmotor grundsätzlich von der Dampfmaschine und dem Elektromotor und verlangt deshalb einen anderen Aufbau des Antriebs. Die letztgenannten Maschinen sind in der Lage, unter Last anzufahren, und können in sich auf entgegengesetzte Drehrichtung umgesteuert werden. Dadurch ist die direkte Verbindung der Maschinen mit den angetriebenen Einrichtungen, Hebewerk, Bohrtisch und Spülpumpe, möglich. Die Verbrennungsmotoren verlangen die Zwischenschaltung eines Uebertragungssystems, das einerseits die Verbindung des durch den Anlaßvorgang in Drehung versetzten Dieselmotors mit den still-

stehenden angetriebenen Einrichtungen und andererseits die Aenderung der Drehrichtung der Einrichtungen ohne Aenderung der Drehrichtung des Dieselmotors gestattet.

Die Erfüllung dieser zweifachen Aufgabe kann auf mechanischem, elektrischem oder hydraulischem Wege erfolgen. Alle drei Arten wurden im Fahrzeugantrieb, der die gleichen Anforderungen stellt, ausprobiert und zu einer hohen Vollkommenheit entwickelt. Für kleinere Leistungen erwies sich die mechanische Uebertragung am vorteilhaftesten, da sie durch den einfachsten Aufbau den geringsten Platz verlangt und die niedrigsten Anschaffungskosten ergibt. Für große Leistungen, wie sie im Schiffsantrieb und bei großen Lokomotiven auftreten, gelang bisher die Ausführung einer einfachen, leicht zu betätigenden mechanischen Uebertragung nicht. Hier ist die elektrische Uebertragung vorherrschend. Die hydraulische Verbindung eignet sich für mittlere Leistungen, doch ist ihre Anwendung noch sehr umstritten.

Für den Bohrbetrieb nach dem Rotaryverfahren sind bisher nur die mechanische und die elektrische Uebertragung verwendet worden.

Als dritter, für die Gestaltung der Gesamteinrichtung maßgebender Punkt ist die Regelbarkeit anzusehen. Hierin unterscheiden sich die genannten Antriebsmittel nur wenig. Alle Maschinenarten sind für verschiedene Leistung und Drehzahlen regelbar; da hierbei der Wirkungsgrad fällt und eine langsam laufende Maschine in die Gefahr stehen zu bleiben gerät, ist auf die Regelung im Aufbau der Bohreinrichtung durch die Geschwindigkeitsstufen Rücksicht genommen.

Auf diese Geschwindigkeitsregelung hat die Anwendung der mechanischen oder elektrischen Uebertragung keinen Einfluß. Die hydraulische Uebertragung gibt jedoch die Möglichkeit, außer den genannten Aufgaben auch die Regelung zu übernehmen. Sie gestattet beim Ziehen die dauernde, volle Belastung der Maschine und dadurch größtmögliche Geschwindigkeit. Darin liegen für den Bohrbetrieb sehr große Vorteile, und es ist berechtigt, auf diese Uebertragung näher einzugehen.

Die genannten Uebertragungsarten werden im Folgenden im Einzelnen betrachtet.

2. Dieselmotorantrieb mit mechanischer Uebertragung.

Entwicklung.

Die erste Rotarybohreinrichtung mit Dieselmotorantrieb wurde 1928 in Amerika auf dem Puente-Felde bei Brea[6]) durch die Shell Oil Company aufgestellt. Es wurden zwei Atlas-Imperial-Viertaktmotoren, ein Vierzylinder von 150 PS zum Bohren und ein Dreizylinder-Motor von 110 PS für die Pumpen, verwendet, die sich gut im Betriebe bewährten. Die Bohrung wurde auf 1775 Meter niedergebracht. Die langsam laufenden Motoren wiesen jedoch ein so hohes Gewicht (14 bezw. 11 t) auf und erforderten so schwere und komplizierte Uebertragungseinrichtungen, daß sich große Schwierigkeiten und Kosten für den Transport und die Aufstellung ergaben. Die Uebertragung erfolgte auf mechanischem Wege. Man ging daher bei der nächsten, in Amerika aufgestellten Dieselmotor-Bohreinrichtung zur elektrischen Uebertragung über. Die Einfachheit, die der Bohrbetrieb verlangt, konnte jedoch mit ihr auch nicht erreicht werden, und es erklärt sich daraus, daß man zu der mechanischen Uebertragung zurückging. In der inzwischen verflossenen Zeit sind eine Reihe mechanischer Dieselmotor-Bohreinrichtungen zur Verwendung gekommen, die sich gut bewährt haben. Unter ihnen sind besonders zwei Anlagen für den gegenwärtigen Entwicklungsstand charakteristisch, eine amerikanische und eine deutsche Ausführung. Beide bringen mehrere neue Hilfsmittel zur Anwendung, und es ist deshalb nötig, im Folgenden beide Anlagen zu beschreiben. Durch geeignete Zusammenstellung der bei beiden Anlagen benützten besonderen Neuerungen wird es bei Neuanlagen gelingen, die bisher erzielten Ergebnisse weiter zu verbessern.

Aufbau und Arbeitsweise der Anlage.

Die amerikanische Bohreinrichtung wurde 1931 von der Sheldon-Burden Company of Mexico gebaut, und mit ihr wurden von dieser Gesellschaft und für die Compania de Petroleo Mercedes zwei Schürfbohrungen in Tamaupilas, Nord-Mexico, ausgeführt. Die Bohrungen waren Rio Bravo 3 und El Charro 1.[7])

Der Aufbau ist aus der schematischen Darstellung, Abbildung 9, ersichtlich. Die Hauptbestandteile der Anlage sind: zwei Sechszylinder-Viertakt-Atlas-Imperial-Dieselmotoren von je 200 PS (a) und (b),
eine Gardener-Denver-Spülpumpe $7\frac{1}{4} \times 16''$ (c),
eine Oil Well Supply-Spülpumpe $6\frac{1}{4} \times 14''$ (d),
ein Sheldon-Burden-Bohrtisch (e),
ein Sheldon-Burden-Hebewerk (f).

Die Arbeitsweise ist folgende: Während des Bohrens treibt der Dieselmotor (a) über die Motorkupplung (g) und den Kettentrieb (h) auf die Vorgelegewelle (i), die durch eine Reibungskupplung (k) eingeschaltet wird. Von dieser Welle (i) wird mittels des Kettentriebes (l) das Drei-Stufengetriebe (m) angetrieben, von dem der Drehtisch (e) seinen Antrieb erhält. Gleichzeitig treibt der zweite Dieselmotor (b) über die Motorkupplung (n), die Doppelklauenkupplung (o) und den Kettentrieb (p) die zweite Vorgelegewelle (q) an. Von dieser können mittels der Kettentriebe mit Klauenkupplungen (r) und (s) wahlweise die größere, die kleinere oder beide Pumpen angetrieben werden. Für das Gestängeziehen arbeitet der zweite Dieselmotor mit dem ersten zusammen auf das Hebewerk (f), wobei die Pumpen stillstehen. Die Zusammenschaltung erfolgt durch Einschalten der die beiden Motorwellenstümpfe verbindenden Klauenkupplung (t), wobei durch das Zahnrädergetriebe (u) die entgegengesetzten Drehrichtungen der Wellen ausgeglichen werden. Zuvor erfolgt durch Ausrücken der Kupplung (o) (Mittelstellung) das Stillsetzen der Pumpen. Die Kraft beider Dieselmotoren wird dann über den oben beschriebenen Weg (h)—(i)—(k)—(l)—(m) dem Haspel zugeführt. Für das Gestängeabschrauben treiben die zusammengeschalteten Motoren nach Ausschalten der Reibungskupplung (k) in entgegengesetztem Drehsinn auf das Drei-Stufen-Getriebe. Dazu wird die Doppelklauenkupplung (o) in die linke Einrückstellung gebracht, wodurch die Kraft

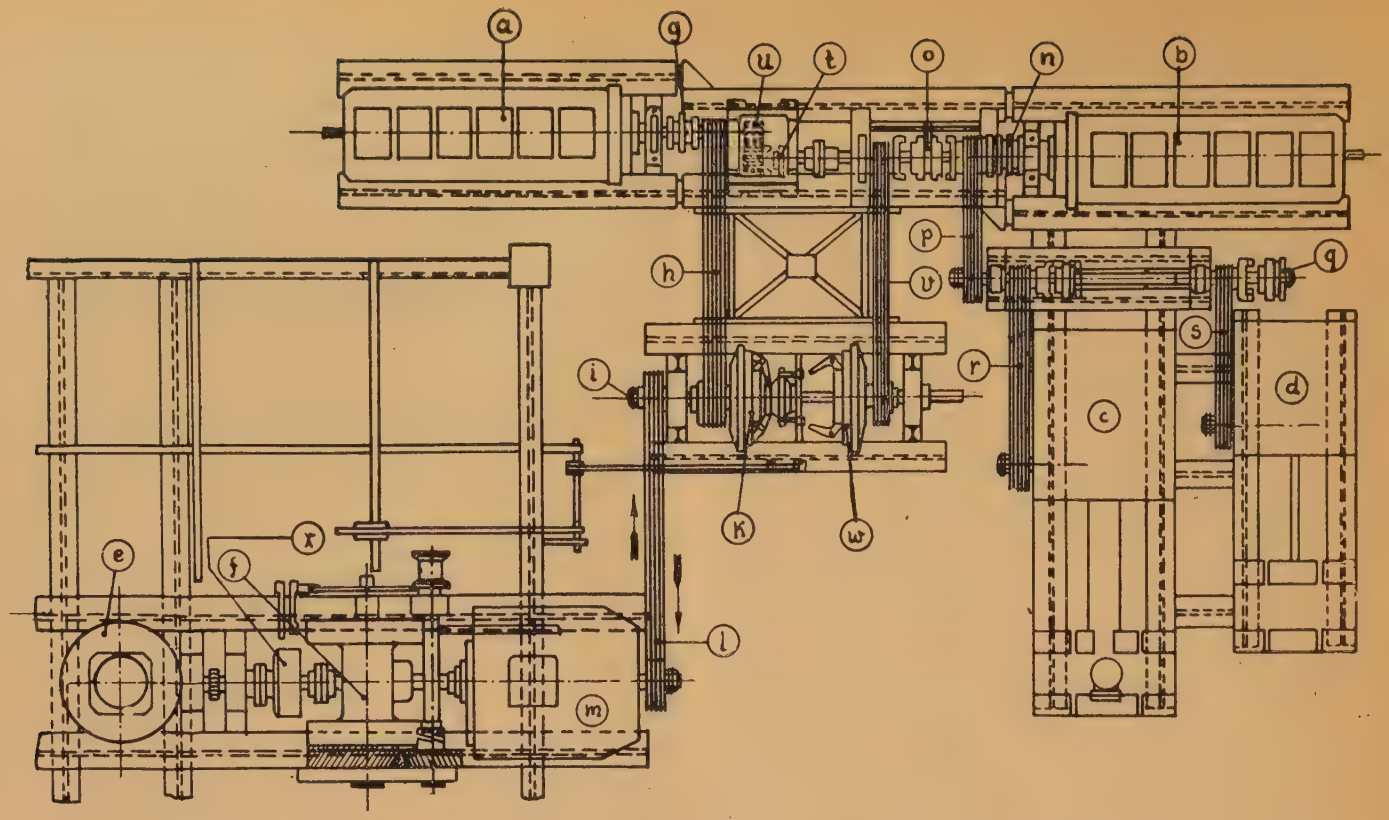


Abb. 9. Schema einer Rotarybohreinrichtung mit Dieselmotorantrieb. Anlage: El Charro 1.

beider Motoren durch den Kettentrieb (v) und die jetzt eingeschaltete Reibungskupplung (w), die Vorgelegewelle (i) und den Kettentrieb (l) dem Getriebe zugeleitet wird. Entsprechende Schaltungen dienen für das Rohreziehen, Fischen und andere Arbeitsvorgänge.

Der hier durchgeführte Aufbau gibt die Möglichkeit, beide Maschinen zusammenzuschalten und für das Gestängeziehen, Verrohren und Abschrauben auszunützen. Durch Ausschalten einer der beiden Motorkupplungen (g) oder (m) können alle Arbeitsvorgänge mit nur einer Maschine durchgeführt werden. Dadurch wird ein wirtschaftliches Arbeiten in geringen Tiefen ermöglicht und andererseits verhindert, daß bei Ausfallen eines Motors wegen Störung der Betrieb unterbrochen werden muß.

Die Abbildungen 10a und 10b geben einen Ueberblick über die gesamte Bohreinrichtung und ermöglichen eine Vorstellung der Größen der Maschinen.

Die Regelung der Bohrerdrehzahl und der Ziehgeschwindigkeit erfolgt durch das Drei-Stufen-Getriebe.

Eine weitergehende Regelung kann durch Veränderung der Motorendrehzahl erzielt werden, weshalb die Motoren für ein Arbeiten bei verschiedener Drehzahl gebaut sind.

Die Besprechung der Einzelteile erfolgt weiter unten.

Die im Folgenden behandelte deutsche Dieselmotor-Rotaryeinrichtung wurde 1931 von der Preußischen Bergwerks- und Hütten A. G. errichtet.[8]) Mit ihr wurden einige Bohrungen auf Erdöl in Mitteldeutschland ausgeführt, bei denen schwierige Verhältnisse wegen der mächtigen harten Schichten zu überwinden waren.

Den Aufbau der Anlage zeigt die Abbildung 11 im Schema. Ihre Hauptbestandteile sind:

ein Zweizylinder-Zweitakt-Junkers-Gegenkolben-Dieselmotor von 175 PS bei normal 300 U/min (a),

ein Zweizylinder-Zweitakt-Junkers-Gegenkolben-Dieselmotor von 120 PS bei normal 375 U/min (b),

zwei Wirth-Spülpumpen (c) und (d)

ein normaler Bohrtisch (e) und

ein achtstufiges Hebewerk (f).

Die Arbeitsweise ist hier folgende: Für das Bohren treibt der Dieselmotor (a) über einen Riementrieb (g) auf den rechten Strang einer Vorgelegewelle (h), die durch eine Reibungskupplung (i) eingeschaltet wird. Von dieser werden durch eine Doppelklauenkupplung (k) wahlweise die Kettentriebe (l) oder (m) angetrieben, die die Drehung an die dritte Welle eines Hebewerks (f) weiterleiten, von der der Antrieb des Bohrtisches (e) durch eine Kette erfolgt. Gleichzeitig treibt der Dieselmotor (b) über einen Riementrieb (n) den linken Strang der Vorgelegewelle (h), der von dem rechten Strang unabhängig laufen kann. Von diesem linken Strang werden je nach dem Einschalten der Kettentriebe und Kupplungen (o) oder (p) die Spülpumpe (c) oder (d) oder beide Pumpen angetrieben. Für das Gestängeziehen können beide Motoren durch die Kupplung (q) zusammengeschaltet werden, die die beiden Stränge der Vorgelegewelle dabei verbindet. Auf dieser ist ein Differential-Wendegetriebe (r) aufgebaut, das den Antrieb des Bohrkranes in entgegengesetzter Drehrichtung, z. B. für das Abschrauben, gestattet. Durch die Kupplungen (s) oder (t) ist die Abschaltung eines Dieselmotors und der Betrieb mit einem Motor möglich. Auch hier ist dadurch ein wirtschaftliches Arbei-

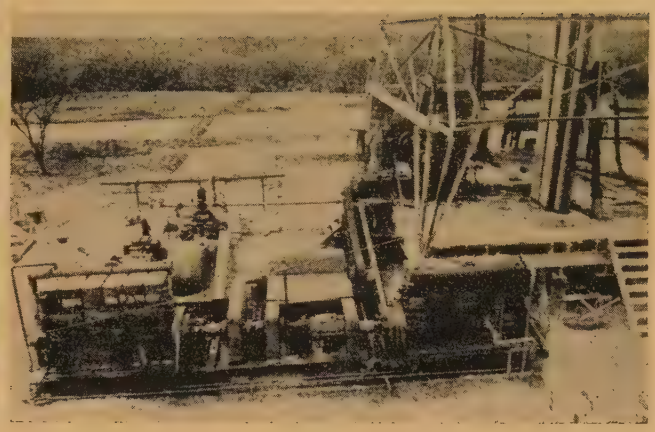


Abb. 10 a und 10 b. Ansicht einer Rotarybohreinrichtung mit Dieselmotorantrieb. Anlage El Charro 1.

ten in geringer Tiefe durch Stillsetzen eines Motors möglich, wobei durch die Größenwahl der Motoren eine stufenweise Leistungssteigerung von 120 über 175 auf rund 300 PS erzielt werden kann. Gleichzeitig ergibt sich auch hier eine höhere Betriebssicherheit.

Die Regelung der Bohrerdrehzahl wird erzielt durch Einstellung der Doppelklauenkupplung (k) und Antrieb über die Kette (l) oder (m), deren Uebersetzung verschieden ist. Die Geschwindigkeitsregelung beim Ziehen erfolgt durch die Uebersetzungen des Hebewerkes in acht Stufen.

Einzelteile.

Die beiden Hauptaufgaben der Uebertragungseinrichtung, die Zusammenschaltung eines stillstehenden mit einem bewegten Teil und die Umsteuerung der Drehrichtung, sind bei beiden Anlagen konstruktiv verschieden gelöst.

Zur Zusammenschaltung auf mechanischem Wege dienen die Kupplungen, die im Betriebe aus- und einschaltbar sein müssen. Neben der Forderung einer möglichst stoßfreien Einschaltung ist die weitere einer möglichst geringen Abnützung der bewegten Teile und einer leichten Auswechselung der abgenützten Teile zu erfüllen. Bei der

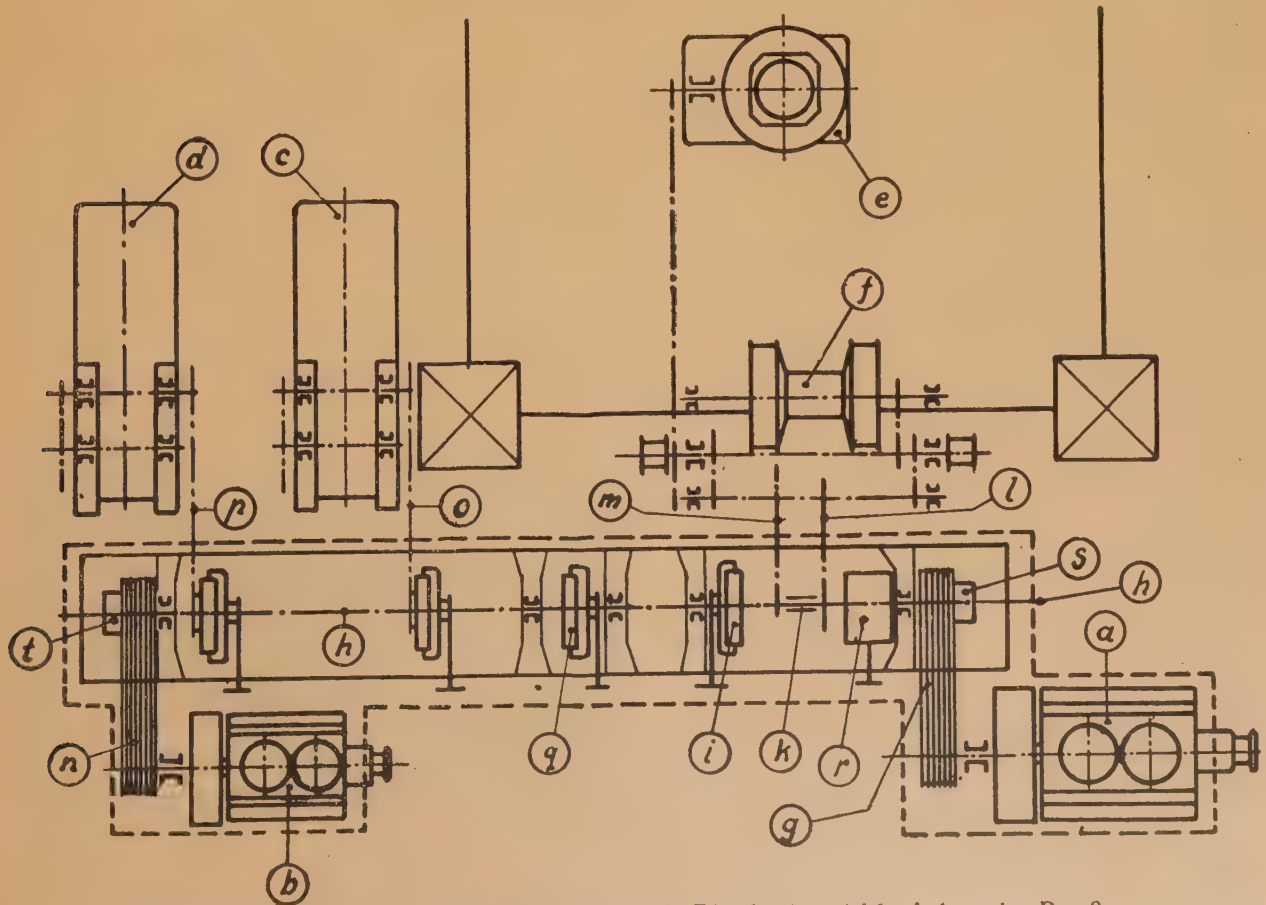


Abb. 11. Schema einer Rotarybohreinrichtung mit Dieselmotorantrieb, Anlage der Preußag.

amerikanischen Anlage werden Kegelreibungskupplungen, für die Anlage der Preußag die bekannten Hill-Kupplungen verwendet, deren Vorteil die leichte Auswechselung der mit Ferodofiber belegten Backen ist.

Zur Aenderung der Drehrichtung des Hebewerks dient bei der amerikanischen Anlage lediglich eine zweite Kupplung. Die entgegengesetzte Drehrichtung der beiden Wellenstränge links und rechts des Zahnrädergetriebes, aus der (entgegengerichteten) Aufstellung der (gleichlaufenden) Motoren resultierend, und die Einschaltung der links oder rechts gelegenen Kettentriebe ergeben die verschiedene Drehrichtung. Bei der deutschen Bohreinrichtung ist als Umsteuerorgan ein Differential-Wendegetriebe vorgesehen. Beide Arten können im Ergebnis als gleichwertig angesehen werden. Die amerikanische Anordnung erspart das teuere Wendegetriebe, verlangt jedoch eine zweite Vorgelegewelle für die Kupplungen. Diese zweite Welle verlangt Platz, die gesamte Anordnung wird dadurch umfangreicher. Die deutsche Anlage fordert die Ausgabe für das Getriebe, bietet aber den Vorteil eines übersichtlicheren Aufbaus. Die Betriebseigenschaften des Wendegetriebes sind völlig zufriedenstellend. In mehrjährigem Betrieb mit oft sehr hohen Beanspruchungen waren nicht die geringsten Beanstandungen zu erheben. Instandsetzungen waren nicht nötig. Da ein gedrängter Aufbau manchen Vorteil im Bohrbetrieb bietet, kann man der Anordnung mit Wendegetriebe den Vorzug geben.

Bemerkenswert sind bei der deutschen Anlage die Riemen zwischen Motor und Vorgelege. Sie verhindern das Uebertreten der Motorschwingungen auf den Antrieb, vermeiden einen ungleichmäßigen Antrieb durch die Explosionsstöße und schützen den Motor vor den Stößen, die im Bohrvorgang auftreten. Die ausschließliche Verwendung von Ketten führt zu ständigen Kettenbrüchen oder zur Beschädigung des Motors. Als Riemen dienen 6 bis 12, im Schnitt trapezförmige Gummiriemen, die durch Spannrollen gespannt werden. Die amerikanische Einrichtung verwendet nur Ketten, was hier deshalb möglich ist, weil durch die neuartige Ausbildung des Hebewerks die Stöße vermieden werden.

Dieses Hebewerk besitzt an Stelle der bisher stets verwendeten, durch Klauenkupplungen geschalteten Kettentriebe ein Zahnrädergetriebe, das die Geschwindigkeitsregelung in drei Stufen gestattet. Die Abb. 12 stellt das neue Hebewerk dar. Der Antrieb des Bohrtisches erfolgt durch eine Welle, in die eine flexible Kupplung zur Aufnahme der Stöße aus dem Bohrloch geschaltet ist. Die Zusammenfassung der Uebersetzungen in einem geschlossenen Getriebe und der Wellenantrieb des Bohrtisches bringen folgende Vorteile:

1. Die gekapselten, in Oel laufenden Zahnräder weisen einen wesentlich geringeren Reibungsverlust als die dem Verschmutzen ausgesetzten Kettentriebe auf.
2. Die vom Bohrer stammenden Stöße werden nicht durch Ketten verstärkt, sondern, bevor sie das Triebwerk erreichen, durch die flexible Kupplung abgeschwächt oder verzehrt.
3. Die Abnützung der Zahnräder ist gering, da die dauernden kleinen Stöße ferngehalten sind und alle Räder in Oel laufen.
4. Die gedrängte Bauweise des Getriebes spart gegenüber dem Kettenantrieb viel Platz, erhöht die Uebersichtlichkeit und erleichtert die Schmierung und Ueberwachung.
5. Die Kraftübertragung zum Bohrtisch durch eine Welle erhöht die Bewegungsfreiheit auf dem Turm und setzt die Unfallgefahr herab.
6. Durch den stoßverzehrenden Aufbau wird eine wesentliche Schonung aller weiteren Antriebsteile bewirkt und die Gefahr von Störungen vermindert.

Als Nachteil wird dieser Ausführung entgegengehalten, daß die Kettentriebe dem Manne am Bohrerstande eine bessere Kontrolle der Bohrverhältnisse geben, durch plötzliches Straffen auf eine Störung hinweisen und durch schnelles Zurückziehen des Bohrers ein Festlaufen und einen dabei möglichen Gestängebruch oft noch vermeiden lassen. Dieses Mittel stützt sich jedoch so sehr auf die dauernde Wachsamkeit des Bohrführers, daß es mit ihm kaum gelingen wird, einen wirksamen Schutz für die Bohrung zu erreichen. Ein besseres Mittel ist der Einbau einer Rutschkupplung, die auf die größte Maschinenleistung eingestellt den Motor vor unzulässiger Ueberlastung schützt und die Bruchgefahr des Gestänges in erheblichem Maße herabsetzen kann.

Die hier beschriebene, kettenlose Bohreinrichtung wurde zuerst von der Sheldon - Burden Company hergestellt. Ihre Vorzüge führten dazu, daß die Einrichtung jetzt auch in Europa gebaut wird. (Ausführung „Rapid-Tempo-Rotary" des Trauzl-Werkes, Wien.) [9])

Erstellung der Anlage.

Für die Erstellung der Anlage ist die Aufstellung der Dieselmotoren am wichtigsten. Der feste, durch die Hitze fast zu Stein erhärtete Boden der mexikanischen Bohrungen gestattete die Aufstellung der Motoren ohne Fundamente. Die Motoren, Vorgelege und Pumpen sind auf kräftigen, mit einander verschraubten Rahmen aus doppeltem U-Eisen befestigt, die ein schnelles Ausrichten aller Teile gestatten und die Aufstellungszeit erheblich verkürzen. Die aus Abbildung 9 ersichtlichen Rahmen sind so geteilt, daß ein ein-

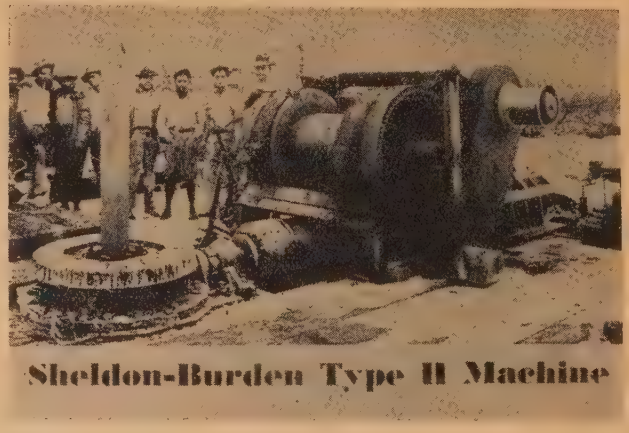


Abb. 12.
Kettenlose Sheldon-Burden-Rotarybohreinrichtung.

facher Transport ohne Verziehen der Konstruktion gesichert ist.

Bei der deutschen Bohreinrichtung wurden die Dieselmotoren auf Betonfundamenten aufgestellt. Die Aufstellung wird durch die Herstellung der Fundamente erschwert und die Aufstellzeit verlängert. Die Bodenverhältnisse ließen jedoch eine andere Art der Aufstellung ausscheiden, besonders da bei den verwendeten Zweizylindermotoren das große Gewicht auf eine sehr kleine Grundfläche wirkt. Auch das Vorgelege wurde auf Betonsockeln verankert. Hierin liegt ein Nachteil des Dieselmotorantriebs gegenüber Dampfmaschinen- und Elektromotorenantrieb, bei denen die Aufstellung wegen der Leichtigkeit der Maschinen und der direkten Verbindung erheblich einfacher und schneller erfolgen kann.

Durch weitere Herabsetzung der Gewichte der Motoren und bessere Ausgestaltung des Antriebs muß danach gestrebt werden, daß eine einfache Aufstellung ohne besondere Facharbeiter in kurzer Zeit durchführbar ist. Dazu wird nicht zu umgehen sein, daß von dem üblichen Ketten- und Riemenantrieb mit den hohen seitlichen Beanspruchungen zu dem einfacheren Wellenantrieb übergegangen wird, bei dem durch zweckmäßige Gestaltung eines aus einzelnen Teilen verschraubten Grundrahmens und Verwendung flexibler Kupplungen eine leichte, aber genaue Aufstellung möglich ist.

Betriebsergebnisse.

Der Brennstoff- und Schmiermittelverbrauch der beiden Anlagen ist mit den Werten zweier anderer Anlagen, die sich im Aufbau nur wenig unterscheiden, in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

Wirtschaftlichkeit.

Die Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors gegenüber den anderen Antriebsmitteln läßt sich für alle Verhältnisse rechnungsmäßig nicht angeben. Abgesehen von den sehr verschiedenartigen Bohrverhältnissen sind auch die Kosten für die Betriebsstoffe zu verschieden, als daß ein genauer Vergleich möglich wäre. Es können deshalb hier nur allgemeine Angaben gemacht werden.

Für die Wirtschaftlichkeit sind die Kosten für die Anschaffung, den Transport, die Aufstellung, den Betrieb und die Bedienung maßgebend. Die ersten drei Kostenarten sind als Anlagekosten durch die Abschreibung zu tilgen, deren Höhe von der Lebensdauer der einzelnen Teile mitbestimmt wird.

Die Kosten für die Anschaffung einer Dieselmotor-Antriebseinrichtung mit mechanischer Uebertragung betragen in Deutschland ungefähr ebensoviel wie die für einen Dampfantrieb, während für das Ausland mit ungefähr 25 % höheren Kosten gerechnet werden muß. Gegenüber dem Elektromotorantrieb ist der Dieselmotorantrieb ungefähr 20 % teurer.

Die Kosten für den Transport sind bei Verwendung von Dieselmotoren erheblich niedriger als für eine Dampfeinrichtung mit der schweren Kesselbatterie. Das Gewicht der gesamten Antriebseinrichtung mit Dieselmotoren beträgt nur rund die Hälfte bis ein Drittel einer gleichstarken Einrichtung für Dampfantrieb.

Für die Aufstellung sind ungefähr die gleichen Kosten wie für Dampfantrieb zu rechnen, bei dem zwar die Aufstellung der Kessel einfach ist, durch Verlegen der Leitungen, Anlage eines Brennstoffvorratbehälters u. a., jedoch Kosten entstehen, die bei Dieselmotorantrieb nicht auftreten. Gegenüber dem Elektromotor ist die Aufstellung des Dieselmotors oft mit höheren Kosten verbunden.

Der Betrieb des Dieselmotors ist außerordentlich billig, da die Brennstoffkosten sehr niedrig sind. Der Treibölverbrauch beträgt nur 15 bis 20 % dessen einer gleichstarken Dampfbohreinrichtung, selbst wenn dafür neuere, wirtschaftlichere Kessel benützt werden. Ein Vergleich mit dem Elektromotor ergibt folgende Werte: Bei Annahme eines Brennstoffpreises von 11 RM/100 kg, wie er bei Einkauf größerer Mengen gilt, und einem Verbrauch von 180 g/PSh, kostet die PS-Stunde: 0,11 . 0,18 = 0,02 RM/PSh oder die KW-Stunde: 0,03 RM. Bei Berücksichtigung der höheren Abschreibung der Dieselmotoreinrichtung kann i. a. mit einer wirtschaftlichen Ueberlegenheit des Dieselmotors gerechnet werden, wenn der Strombezug mehr als 0,05 RM/KWh kostet. Die Kosten für Instandsetzungen, Ersatzteile u. ä. sind bei dem Dieselmotorantrieb wesentlich geringer als bei dem Dampfantrieb, dessen Kessel öftere Reinigungen und Ausbesserungen erfordern, und nicht höher als bei Elektromotorbetrieb.

Die Bedienungskosten sind die gleichen wie bei Dampfantrieb; beide Arten erfordern einen Mann pro Schicht zur Bedienung des Motors bez. der Kessel. In diesem Punkte ist der Elektromotor beiden Arten überlegen, da die Ueberwachung der Motoren i. a. der Bohrmannschaft überlassen wird.

3. Dieselmotorantrieb mit elektrischer Uebertragung.

Entwicklung.

Zur Entwicklung der elektrischen Uebertragung führten die Schwierigkeiten, die bei den ersten Versuchen mit mechanischer Uebertragung auftraten und durch die großen Gewichte der Motoren und der Uebertragungseinrichtung und deren schwere Bedienung veranlaßt waren. Die elektrische Uebertragung hatte sich im Fahrzeugantrieb bereits sehr gut bewährt. Auch war der reine elektrische Antrieb im Bohrbetrieb schon lange mit gutem Erfolge zur Anwendung gekommen. Die erste Diesel-elektrische Rotarybohreinrichtung ist in Amerika entwickelt worden, und diese Anordnung ist, soweit mir bekannt ist, auf die Bohrfelder der Vereinigten Staaten beschränkt geblieben. Ihre Besprechung soll hier trotzdem erfolgen, da sie für einen Sonderfall ein gut geeignetes Antriebsmittel darstellt.

Aufbau und Arbeitsweise der Anlage.

Die erste Diesel-elektrische Rotarybohreinrichtung wurde im Mai 1930 bei der Standard Oil Company auf dem Baldwin-Hills-Felde bei Los Angeles[10]) errichtet. Ihr Aufbau ist bei den folgenden Anlagen mit nur unwesentlichen Aenderungen übernommen worden. Diese Anlage wird hier beschrieben.

Tabelle 3.

Bohrung	Bohrtiefe m	Bohrzeit: Tage:	Dieselmotoren	Betriebsstoff *)	Verbrauch Gesamt	Verbrauch kg/Tag	Verbrauch kg/m	Kosten Gesamt	Kosten RM/Tag	Kosten RM/m
El Charro 1	1448	77	2 x 200 PS	B. *)	35100	456	24,3	2220	28,8	1,53
				Sch.	783	102	0,5	780	10,1	0,54
				Ges.	—	—	—	3000	38,9	2,07
Mühlhausen ***)	865	149	175+120 PS	B.	28105	189	32,5	1686	11,3	1,95
				Sch.	wurde nicht ermittelt					
				Ges.	„ „ „					
nicht genannt **)	1067	62		B.	27900	450	26,2	1400	22,6	1,31
				Sch.	660	106	0,6	560	9,0	0,53
				Ges.	—	—	—	1960	31,6	1,84
nicht genannt **)	1480	54		B.	7650	142	5,2	680	12,6	0,46
				Sch.	190	35	0,1	170	3,2	0,12
				Ges.	—	—	—	850	15,8	0,58

*) Es bedeuten: B.=Brennstoff, Sch.=Schmiermittel, Ges.=Gesamtkosten

**) Diese Angaben sind der Literatur entnommen, die Bohrungen und die Größe der Dieselmotoren waren nicht angeführt.

***) Diese Bohrung war bei obiger Angabe noch nicht abgeschlossen

Das wesentlichste Merkmal dieser Einrichtung ist die Verwendung von Gleichstrom zur Kraftübertragung. Bei den rein elektrisch betriebenen Bohreinrichtungen wird fast stets Wechselstrom verwendet, dessen Fortleitung in den langen Ueberlandleitungen wirtschaftlicher ist. Die Wahl des Gleichstromes erfolgte hier deshalb, weil die Gleichstrommotoren für die im Bohrbetrieb auftretenden Leistungsänderungen einfacher geregelt werden können. Die Verwendung von Gleichstrom gestattet die Anwendung der Leonard-Schaltung, die die wirtschaftlichste Motorausnützung bei Leistungsänderungen ergibt und im Fahrzeug-, Fördermaschinen- und Walzenstraßenantrieb als die zweckmäßigste Schaltung bekannt ist.

Der Aufbau der Bohreinrichtung zerfällt in zwei räumlich getrennte Teile, die Kraftanlage und die Bohrturmeinrichtung, die durch Stromleitungen verbunden sind. Die Abbildung 13 zeigt den Aufbau schematisch.

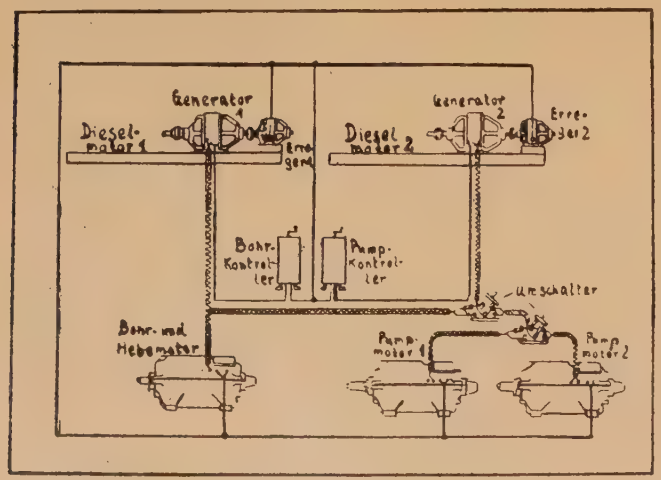


Abb. 13.
Schema einer Rotarybohreinrichtung mit Dieselmotorantrieb. Anlage: Baldwin-Hills-Feld.

Die Kraftanlage besteht aus zwei Dieselmotoren, zwei Generatoren mit Erregern und einem Schaltschrank. Die Sechs-Zylinder-Viertakt-Atlas-Imperial-Dieselmotoren haben eine Normalleistung von je 200 PS bei 450 U/min. Sie treiben über Riementriebe je einen Westinghouse-Gleichstrom-Generator an, der bei 1200 U/min. und 250 V Spannung eine Leistung von 125 KW entwickelt. Direkt mit den Generatorenwellen verbunden ist je ein Erreger, dessen Leistung bei 1200 U/min. und 125 V Spannung 15 KW beträgt. Die Erregerleistung reicht außer zur Felderregung der Generatoren auch zur Lieferung des Lichtstromes und des Stromes für kleine Hilfsmotoren aus. Die Maschinenanlage ist in einem Schuppen untergebracht, der 100 m von der Bohrung entfernt aufgestellt wurde. In ihm ist auch der Schaltschrank aufgestellt, in dem die Schalt- und Meßeinrichtung der Antriebsmaschinen vereinigt ist.

Die Einrichtung auf dem Bohrturm ist sehr einfach. Der übliche Bohrtisch und das Hebewerk werden über ein Untersetzungsgetriebe von einem Gleichstrom-Verbund-Motor angetrieben, der bei 450 U/min. und 250 V Spannung eine Leistung von 125 PS entwickelt. Die Spülpumpe wird von einem Gleichstrom-Motor mit einer Leistung von 125 PS bei 900 U/min. und 250 V Spannung über einen Riementrieb angetrieben.

Die Arbeitsweise ist folgende: Beim Bohren liefert die eine Dieselmotor-Generator-Einheit den Strom für den Bohrmotor, die zweite den Strom für den Pumpmotor. Die Motoren werden getrennt durch Kontroller geregelt. Beim Gestängeziehen, Fischen und ähnlichen Arbeiten werden die Generatoren nach Abschalten des Pumpmotors hintereinander geschaltet, wodurch die Spannung im Netz auf den doppelten Wert ansteigt. Die Wicklung des Bohrmotors ist so ausgeführt, daß er bei der doppelten Spannung mit der doppelten Drehzahl läuft und dabei die doppelte Leistung entwickelt (bei 500 V Spannung 900 U/min. und 250 PS). Diese Motorcharakteristik ermöglicht das Ziehen großer Lasten mit hoher Geschwindigkeit.

Einzelteile.

Der Antrieb der schnell laufenden Generatoren gestattet die Verwendung von Dieselmotoren, die mit hohen Drehzahlen laufen, jedoch ist dann

die Riemenübertragung nicht anwendbar. Vorteilhafter als die oben beschriebene Anlage ist seit der erst in letzter Zeit erfolgten Ausbildung der schnell laufenden Motoren die Aufstellung zweier Dieselmotoren mit 600 bis 1000 U/min., die über ein Zahnrädergetriebe die mit 1200 U/min. laufenden Generatoren antreiben. Die Wahl schnell laufender Generatoren ist zur Gewichts- und Platzersparnis und zur Vereinfachung der Aufstellung von großem Vorteil.

Für Erdölbohrungen mit der Gefahr von Gasausbrüchen und -entzündungen müssen die Motoren auf dem Turm in geschlossener Bauart aufgestellt werden.[11]) Die entfernte Aufstellung der Generatoren erübrigt auch in diesem Falle die Wahl geschlossener Maschinen. Die Schalteinrichtungen auf dem Turm müssen wie die Motoren explosionssicher ausgeführt sein.

Erstellung der Anlage.

Die Entwicklung dieser Einrichtung entsprang dem Wunsche, die Aufstellung einer von Dieselmotoren angetriebenen Bohreinrichtung zu erleichtern. Dies ist mit der beschriebenen Anlage auch in einem besonderen Falle erreichbar. Sollen auf einem Bohrfelde in der Folge eine Reihe, nicht zu weit von einander entfernt gelegener Bohrungen niedergebracht werden, so kann die oben beschriebene Einrichtung von großem Vorteil sein. Es ist bei ihr nicht nötig, die schwierigen, teueren Gründungen für die Dieselmotoren für jeden einzelnen Fall durchzuführen. Die Kraftstation behält ihre Aufstellung und nur die leichte Einrichtung des Turmes wird umgesetzt. Für den Abbau schon als fündig bekannter Felder ist also die Einrichtung sehr geeignet. Es bleibt jedoch der Nachteil bestehen, daß in der Verwendung von Elektrizität als Uebertragungsmittel nicht nur hohe Kosten sich ergeben, sondern auch eine Gefahrenquelle besteht, die schon der Verbreitung des sicher noch wirtschaftlicheren rein elektrischen Antriebs hindernd gegenübersteht. Inwieweit sich dieser Antrieb im Bohrbetrieb auch in anderen Ländern durchsetzen wird, ist heute kaum zu entscheiden.

Betriebsergebnisse.

Ueber die mit Diesel-elektrischem Antrieb ausgeführten Bohrungen sind keine Ergebnisse bekannt geworden.

Wirtschaftlichkeit.

Auch hierüber sind keine genauen Angaben der Oeffentlichkeit übergeben worden. Die Anschaffungskosten liegen erheblich über denen für eine Bohreinrichtung mit Diesel-mechanischem Antrieb, desgleichen die Transportkosten. Die Aufstellungskosten können in dem oben geschilderten Falle jedoch gegenüber einer Einrichtung mit mechanischer Uebertragung erheblich niedriger ausfallen. Die Betriebskosten und die Kosten für die Bedienung sind denen bei mechanischer Uebertragung gleich.

4. Dieselmotorantrieb mit hydraulischer Uebertragung.

Allgemeines.

Bei den vorhergehend beschriebenen Uebertragungsarten, der mechanischen und der elektrischen Uebertragung, erfolgt der Geschwindigkeitsausgleich beim Gestängeziehen entsprechend der kleiner werdenden Last durch Einschalten der Uebersetzungsstufen am Hebewerk. Dabei kann eine um so höhere Maschinenausnützung und Zeitersparnis erzielt werden, je mehr Stufen vorhanden sind. Krekler und Roessing berechnen den Zeitbedarf für das Gestängeziehen bei verschiedener Stufenzahl. Ihren Arbeiten ist folgende Uebersicht entnommen:

Tiefe: 800 m; Gestänge: 6⅝"; Maschinenleistung: 300 PS.
Förderzeit bei zweistufigem Hebewerk: 47 min. 35 sec.
„ „ vierstufigem „ : 32 min. 45 sec.
„ „ achtstufigem „ : 28 min. 45 sec.
Ersparnis bei achtstufigem Hebewerk
gegenüber zweistufigem „ : 18 min. 50 sec.
„ vierstufigem „ : 4 min. — sec.
Tiefe: 1500 m; Gestänge: 4½"; Maschinenleistg.: 300 PS.
Förderzeit bei zweistufigem Hebewerk: 87 min. — sec.
„ „ vierstufigem „ : 60 min. 20 sec.
„ „ achtstufigem „ : 53 min. 20 sec.
Ersparnis bei achtstufigem Hebewerk
gegenüber zweistufigem „ : 33 min. 40 sec.
„ vierstufigem „ : 7 min. — sec.

Die relative Zeitersparnis wird bei Erhöhung der Stufenzahl kleiner, weshalb beide Verfasser zu dem Schluß kommen, daß die Anwendung eines achtstufigen Hebewerkes am zweckmäßigsten ist, da eine weiter gesteigerte Stufenzahl die erhöhten Kosten für die Kettentriebe, Kupplungen, Hebel u. ä. und den umfangreicheren Hebewerksaufbau nicht rechtfertigen können. Dazu kommt, daß die Bedienung zu kompliziert würde.

Rechnerisch wäre die günstigste Stufenzahl gleich der Anzahl der Gestängezüge bei tiefster Bohrung. Dies praktisch mit mechanischen Stufen zu verwirklichen, würde jedoch außer der außerordentlichen Erhöhung der Kosten den Nachteil bringen, daß bei niedrigerer Tiefe ein

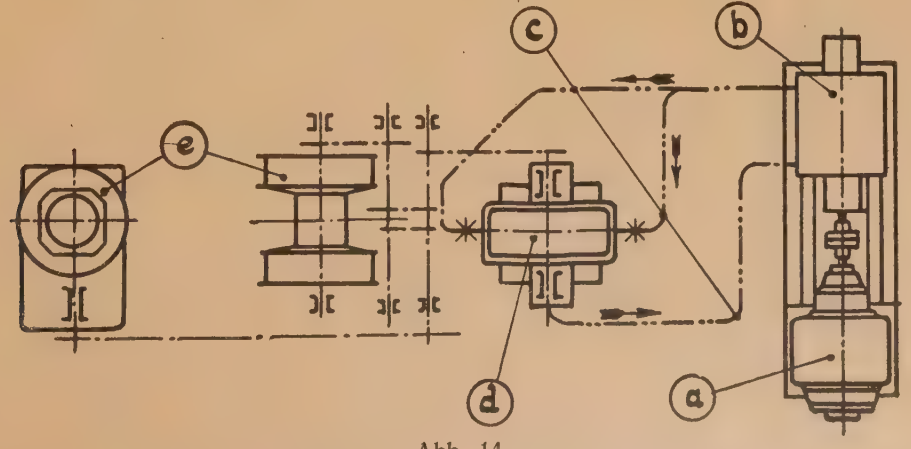


Abb. 14.
Schema einer Rotarybohreinrichtung. System Lehmann.

großer Teil der Stufen nicht ausgenützt würde. Schon die Ausnützung der acht Stufen wird im praktischen Betriebe oft nicht erreicht, da dem Manne am Hebewerk nicht bekannt ist, wann er die nächste Stufe einschalten darf. Die oben genannten Zeiten sind also Bestwerte, deren Erreichung von der Geschicklichkeit des Bohrführers abhängt.

Es muß daher bei mechanischer Stufung mit einer unvollkommenen Maschinenausnützung gerechnet werden und einem Zeitverlust beim Ziehen — Nachteilen, die besonders bei tiefen Bohrungen und harten Schichten, die ein häufiges Bohrerwechseln verlangen, hohe Werte annehmen.

Die volle Maschinenausnützung und größtmögliche Zeitersparnis ist nur durch stufenlos regelbare Getriebe zu erreichen. Derartige Getriebe sind in den hydraulischen Getrieben, den Flüssigkeitsgetrieben, auf anderen Verwendungsgebieten schon bekannt. Besonders im Schiffs- und Lokomotivantrieb, bei denen eine stufenlose Regelung mit Rücksicht auf ein ruhiges Anziehen ohne Ueberbeanspruchung der Maschinenteile gefordert ist, sind derartige Getriebe schon verwendet worden.

Aus dem Vorhergehenden erhellt, daß eine hydraulische Kraftübertragung folgende Aufgaben erfüllen muß:

1. Zerlegung der größten Dauerleistung des Dieselmotors beim Ziehen in die dem Gestängegewicht entsprechende Zugkraft und die dabei erreichbare größte Geschwindigkeit.
2. Möglichst automatische Ausführung des unter 1. beschriebenen Vorgangs, da bei Bedienung von Hand keine vollkommene Lösung erreichbar ist.
3. Schutz gegen Ueberlastung des Dieselmotors.
4. Verbindung des laufenden Dieselmotors mit den stillstehenden angetriebenen Einrichtungen.
5. Drehrichtungsänderung der angetriebenen Einrichtung ohne Aenderung der Drehrichtung des Dieselmotors.
6. Ausführung der genannten Tätigkeiten bei gutem Wirkungsgrade.

Die unter 1., 2. und 3. genannten Aufgaben übernimmt die hydraulische Uebertragung von dem Hebewerk; die unter 4. und 5. genannten entsprechen den Aufgaben, die die mechanische und elektrische Uebertragung erfüllen.

Aufbau und Arbeitsweise der Anlage.

Der erste Versuch zur Lösung der oben beschriebenen Aufgaben ist in dem „System Lehman" unternommen worden, dessen Aufbau die Abbildung 14 zeigt. Die Hauptbestandteile sind der Antriebsmotor (a), die Kreiselpumpe (b), die Rohrleitung (c), die Peltonturbine (d) und die Antriebseinrichtung (e), aus Bohrtisch und Hebewerk bestehend. Die Arbeitsweise besteht darin, daß in der Kreiselpumpe Wasser in Bewegung gesetzt wird, das, durch die Rohrleitung zur Turbine geführt, dort seine Energie abgibt und die Turbine antreibt. Die Einfachheit des Systems ist bestechend und es sind schon Versuche zu einer praktischen Anwendung gemacht worden. Sie zeigten zwar den Nutzen dieses Prinzips, führten aber zu der Einsicht, daß diese Art der Lösung für den praktischen Betrieb noch nicht genügend ausgebaut ist.

Eine bessere Art der Lösung stellen die unter der Bezeichnung „Flüssigkeitsgetriebe" bekannt gewordenen und, wie schon erwähnt, im Fahrzeugantrieb verwendeten Getriebe dar, die gleichfalls

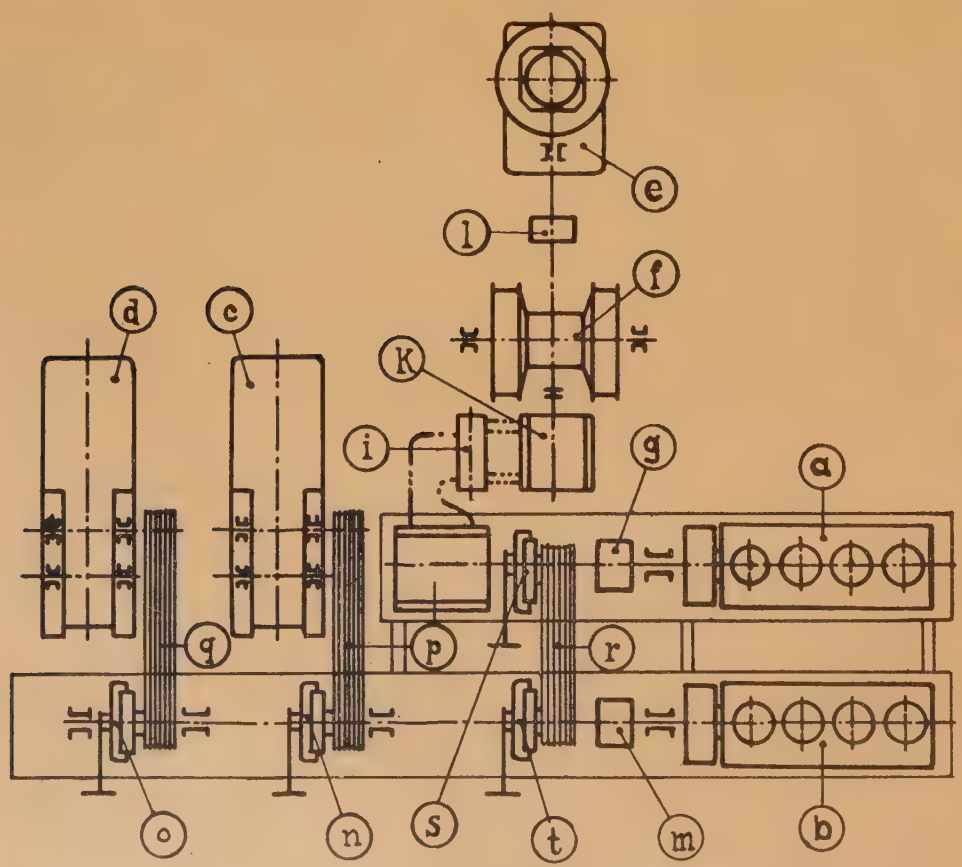


Abb. 15. Schema einer Rotarybohreinrichtung mit hydraulischer Uebertragung.

aus einer Pumpe, einer Leitung und einem hydraulischen Motor bestehen, deren Einzelteile jedoch von den beschriebenen Teilen abweichen.

Den Aufbau einer Rotarybohreinrichtung mit Dieselmotorantrieb und Flüssigkeitsgetriebe stellt im Entwurf die Abbildung 15 dar. Die Anlage besteht aus den beiden Dieselmotoren (a) und (b), zwei Spülpumpen (c) und (d), dem Bohrtisch (e), dem Hebewerk (f) und der hydraulischen Uebertragung nebst einigen weiteren Hilfsmitteln, wie Kupplungen, Riementrieben u. a.

Die Arbeitsweise ist folgende: Beim Bohren treibt der Dieselmotor (a) über eine Motorkupplung (g) die Pumpe (h) des Flüssigkeitsgetriebes an. Das hier unter Druck gesetzte Oel wird durch Rohrleitungen über den Drehschieber (i) zu dem Hydromotor (k) des Flüssigkeitsgetriebes geleitet, wo die Umwandlung des Druckes in Bewegungsenergie erfolgt. Die Welle des Hydromotors (k) treibt unter Zwischenschaltung einer flexiblen Kupplung (l) den Bohrtisch (e) an. Gleichzeitig treibt der Dieselmotor (b) über eine Motorkupplung (m) durch die Reibungskupplungen (n) oder (o) und die Riementriebe (p) oder (q) wahlweise die Pumpe (c) oder (d) oder beide an. Der Riementrieb (r) liegt dabei durch die ausgeschalteten Kupplungen (s) und (t) still. Beim Gestängeziehen und ähnlichen Arbeiten treiben beide Motoren das Hebewerk. Nach dem Stillsetzen der Pumpen durch Ausschalten der Kupplungen (n) oder (o) wird durch Einschalten der Kupplungen (s) und (t) der Riementrieb zur Verbindung der Dieselmotoren benützt. Beide Motoren treiben dann über das Flüssigkeitsgetriebe das Hebewerk an.

Die Regelung der Leistung beim Bohren erfolgt durch Regelung der Leistung der Pumpe vom Bohrerstand aus. Während des Gestängeziehens soll die Leistung unveränderlich bleiben, nur muß ein Aus- und Einschalten des Getriebes erfolgen, das, gleichfalls vom Bohrerstand aus durchgeführt, nur eine einfache Betätigung erfordern soll. Zur Aenderung der Drehrichtung dient der Drehschieber (i), der die Richtung der Zu- und Abfuhr des Oeles zum und vom Hydromotor ändert.

Die hier beschriebene Anlage soll nur einen Entwurf darstellen. Die Ausgestaltung im Einzelnen muß eingehenden Projekten und Versuchen überlassen werden.

Einzelteile.

Die Flüssigkeitsgetriebe werden in verschiedenen Bauarten ausgeführt und in dynamische und statische Getriebe eingeteilt. Bei den dynamischen Getrieben erfolgt die Druckerzeugung wie bei den Kreiselpumpen durch Massenkräfte, erfordert daher sehr hohe Umfangsgeschwindigkeiten. Solche Getriebe sind die nach Föttinger, Rieseler u. a. Sie werden besonders im Schiffbau verwendet, sind aber für den Bohrbetrieb weniger geeignet. Bei den statischen Getrieben wird der Druck durch Verdrängungswirkung in Kolben- oder Kapselzellen erzeugt. Getriebe mit Kolbenzellen nach Hele-Shaw-Beacham, Lauf-Thoma u. a. werden sich für den Bohrbetrieb aus konstruktiven Gründen ebenfalls wenig eignen. Für diesen Betrieb dürften die Getriebe mit Kapselzellen, wie sie von Sturm, Enor, Lentz, Huwiler u. a. entworfen wurden, die geeignetsten darstellen.

Als Beispiel für die Arbeitsweise dieser Kapselzellengetriebe wird ein Huwilergetriebe beschrieben, das aus einem Primärteil, der Pumpe, und einem Sekundärteil, dem Motor, besteht, die durch je zwei Saug- und Druckleitungen verbunden sind. In der Pumpe, die in Abbildung 16 schematisch dargestellt ist, wird von dem Antriebsmotor ein Trommelkörper (a) durch die Welle (b) in Drehung versetzt. Dieser Körper hat Schlitze (c) für die Schieber (d), die auf beiden Seiten mit Rollen versehene Zapfen (e) tragen, die in den Kurvenbahnen (g) geführt werden. Ueber den Hohlkörper (a) kann die mit diesem umlaufende Regelhülse (h) verschoben werden, die Schlitze (i) für die Schieber aufweist. Durch die Regelhülse kann die Größe des Arbeitsraumes von null (bei völlig übergeschobener Hülse) bis zu einem Höchstwert (bei ganz herausgezogener Hülse, wie in Abb.) verändert werden. Im ersteren Falle wird die Leistung der Pumpe null, und der Motor steht still, während im zweiten Falle die Drehzahl des Motors einen Höchstwert erreicht. Die Hülse kann auch auf jede beliebige Zwischenstellung eingestellt werden, sodaß jede gewünschte Drehzahl des Motors erreicht wird.

Zum Verstellen der Hülse dient eine Spindel mit Handrad.

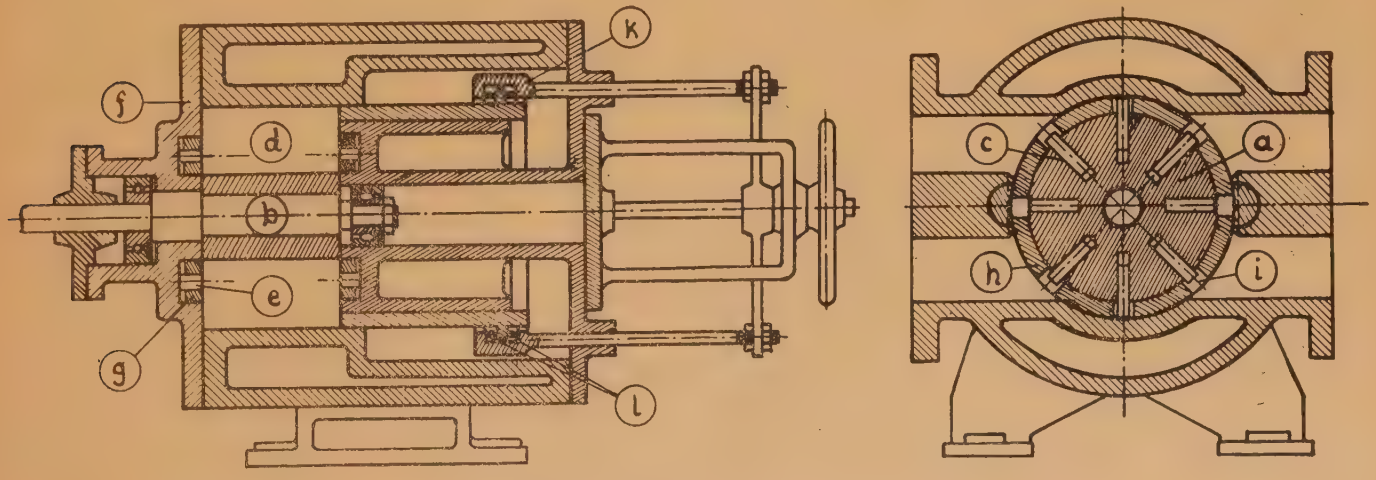


Abb. 16.
Flüssigkeitsgetriebe System Huwiler.

Der Motor zeigt den gleichen Bau wie die Pumpe, nur fällt die Regelhülse fort, sodaß die Baulänge entsprechend geringer wird.

Die mit diesem Getriebe, das für eine Leistung von 100 PS gebaut war, durchgeführten Versuche ergaben einen Wirkungsgrad, der über 80 % betrug. Betriebliche Schwierigkeiten bei schnellem Umschalten traten nicht auf.

Betriebsergebnisse und Wirtschaftlichkeit.

Da bis jetzt die Ausführung einer hydraulischen Uebertragung durch ein Flüssigkeitsgetriebe im Bohrbetriebe m. W. nicht erfolgte, lassen sich eindeutige, genaue Angaben über Betrieb und Wirtschaftlichkeit nicht machen. Zwar liegen schon umfassende Ergebnisse über bei anderen Antrieben verwendete Flüssigkeitsgetriebe vor, doch ist deren Uebertragung auf den Bohrbetrieb nicht ohne weiteres möglich. Die hydraulische Uebertragung ist heute noch im Anfang ihrer Entwicklung, und es ist erklärlich, daß die Urteile über ihre Wirtschaftlichkeit noch recht verschieden sind.

Unbestreitbar ist jedoch die Tatsache, daß diese Uebertragung die beste Möglichkeit einer stufenlosen Regelung darstellt, und daß sie bei einer weiteren, den Bedürfnissen des praktischen Betriebes angepaßten Gestaltung darüber hinaus wesentliche Vorteile bringen kann. Dies erklärt die fortgesetzten Versuche und Arbeiten, die auf eine konstruktiv einfache Lösung hinzielen. Erwähnt seien die guten Erfolge, die auf Kriegsschiffen mit Flüssigkeitsgetrieben nicht nur für den Schraubenantrieb, sondern auch für den Antrieb der Hebezeuge und Geschützrichtmaschinen erreicht wurden, und die eine schnelle, leichte Bedienung bei hohem Wirkungsgrad ergaben.

Die vorstehenden Angaben sollen nur eine kurze Erläuterung der Grundgedanken und eine Anregung zu einer Weiterentwicklung sein. Das Ziel dieser Entwicklung müßte es sein, durch eine einfache Ausbildung eines solchen Getriebes die Bedienung zu vereinfachen, die Aufstellung der Maschinen zu erleichtern und dem heute noch umfangreichen Aufbau der Antriebseinrichtung eine gedrängtere, übersichtlichere Form zu geben. Mit der Erreichung dieses Ziels würde die Verwendung des Dieselmotors als Antriebsmittel erleichtert und seine Verbreitung begünstigt werden.

Es sei noch erwähnt, daß die Bezeichnung als hydraulische Uebertragung nicht eng gefaßt werden darf, und daß auch eine Uebertragung durch Druckluft, wie sie vor kurzem beim Lokomotivantrieb mit Erfolg verwendet wurde, hierunter verstanden werden kann. Eine eingehendere Behandlung dieses umfangreichen Gebietes ist in diesem Rahmen jedoch nicht möglich.

5. Abwärmeverwertung.

Die Verwendung des Dieselmotors als Antriebsmittel bietet einen weiteren Vorteil, die Verwertung der Abwärme. Die Hitze der Abgase des Motors ist sehr hoch und gestattet die Gewinnung recht bedeutender Wärmemengen, die mit gutem Nutzen zu Heizzwecken verwendet werden können. Wenn es auch nicht möglich ist, den ganzen Turm zu heizen, was auch nicht nötig ist, so ist in Ländern mit kaltem Winter die Aufstellung eines einfachen Heizkörpers in der Nähe des Bohrstandes erwünscht. Der Bohrführer am Hebewerk ist der Kälte in besonderem Maße ausgesetzt, da er während des Bohrens nur wenig Bewegungsmöglichkeit hat. Auf einer größeren Anzahl rumänischer und galizischer Bohrungen hat sich die Beheizung des Turmes, hier mit Frischdampf durchgeführt, für die Ausführung der Arbeiten sehr zweckmäßig erwiesen und wird in steigendem Umfange angewandt.

Der Aufbau einer Abwärmeverwertungseinrichtung ist einfach und verlangt keinen hohen Kostenaufwand. Sie kann am Motor leicht befestigt werden und wird von den Dieselmotor-Baufirmen auf Verlangen geliefert. Der Betrieb verlangt keine besondere Bedienung und verschlechtert den Motorbetrieb nicht. Die Abbildung 17 zeigt eine derartige Einrichtung an einem kleinen Dieselmotor. Aehnliche Einrichtungen werden für die im Bohrbetrieb verwendeten, größeren Motoren ausgeführt.

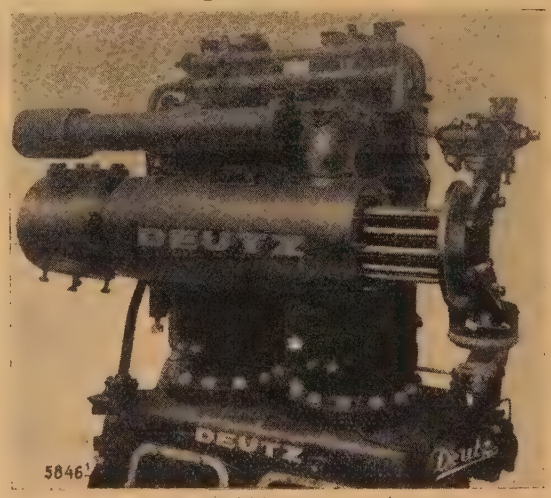


Abb. 17.
Abwärmeverwertungs-Einrichtung an einem Dieselmotor.

Die Heizung erfolgt durch Warmwasser, bringt also keine Gefahr von Bränden bei gasreichen Sonden, bei denen die Aufstellung offener Feuer verboten ist.

Die Ausnützung der Abwärme wird bei stationären Motoren sehr oft durchgeführt und ergibt eine wesentliche Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades der Anlage.

6. Dieselmotorantrieb für andere Zwecke.

Stationäre Motoren.

Im Anschluß an die Verwendung des Dieselmotors als Antrieb für Bohrtisch, Hebewerk und Pumpen sei noch kurz auf anderweitige Verwendungsmöglichkeiten im Bohrbetriebe hingewiesen.

Der bei dem Rotaryverfahren Tag und Nacht durchgeführte Betrieb verlangt die Beleuchtung des Turmes während der Nachtzeit, zu der stark leuchtende elektrische Lampen dienen. Die Versorgung dieser Lampen mit Strom erfolgt, wenn nicht mit elektrischem Antrieb gebohrt wird, durch einen Generator, zu dessen Antrieb der Dieselmotor wegen seines geringen Brennstoffverbrauches sehr geeignet ist. Der Antrieb der Lichtmaschine durch eine der Hauptantriebsmaschinen ist nicht angängig, da durch deren Schwankungen eine gleichmäßige Beleuchtung unmöglich gemacht

wird. Als Antrieb eignet sich je nach Größe der Bohranlage ein 10 bis 20 PS starker Zweitakt- oder Viertakt-Dieselmotor mit einer zwischen 500 und 800 U/min. liegenden Drehzahl.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für den Dieselmotor besteht im Antrieb für Pumpeinrichtungen und Werkstätten, die einem größeren Bohrbetrieb auf Oelfeldern meistens angeschlossen sind.

Auf die weitere zweckmäßige Ausnützung zum Antrieb von Pumpen und Kompressoren auf produzierenden Feldern sei nur hingewiesen.

Fahrzeugmotoren.

Der große Umfang der im Bohrbetrieb auszuführenden Transporte und die fast regelmäßige Abgelegenheit der Bohrung von einer Bahnlinie führte die größeren Bohrunternehmungen zur Anschaffung eines eigenen Fahrzeugparkes. Für den Transport der schweren Lasten für die Bohreinrichtung eignen sich am besten von Traktoren gezogene Wagen. Die Traktoren werden fast stets mit dem billigen Rohöl betrieben. Für Transporte, bei denen es auf möglichst schnelle Herbeischaffung der Teile ankommt — z. B. Ersatzteile, Fanggerät —, ist die Beförderung mit dem langsam fahrenden Traktor nicht angebracht und der Transport mit Lastautomobilen, besonders Schnellastwagen vorteilhafter. Für diese Lastwagen erwies sich der Dieselmotor sehr gut geeignet, da seine Anschaffung nur wenig mehr kostet, als die eines gleichstarken Vergasermotors, dem er wesentlich niedrigere Betriebskosten voraus hat. Die Verwendung derartiger Lastwagen ist in den letzten Jahren in starkem Ansteigen begriffen, seitdem die Ausbildung eines leichten, schnell laufenden Fahrzeug-Dieselmotors gelungen ist.

Damit sind im Wesentlichen die Verwendungsmöglichkeiten des Dieselmotors im Bohrbetriebe erschöpft.

7. Zusammenfassung.

Ein Vergleich der Uebertragungsformen bei Dieselmotorantrieb läßt die mechanische Uebertragung als die gegenwärtig zweckmäßigste erkennen. Ihr einfacher Aufbau aus bekannten, einfachen Maschinenteilen ermöglicht eine schnelle Einstellung der Bohrmannschaft auf diesen Antrieb, eine leichte Instandhaltung und Instandsetzung und ist dadurch für den Bohrbetrieb ein wesentlicher Vorteil. Auf die Möglichkeit einer Verschiebung dieser Stellung zu Gunsten einer noch zu schaffenden hydraulischen Uebertragung wurde schon hingewiesen.

Ein Vergleich des Dieselmotorantriebs mit dem Antrieb durch andere Kraftmaschinen läßt sich wegen der Vielgestaltigkeit der im Bohrbetrieb maßgebenden Bedingungen und ihrer verschieden großen Bedeutung bei den einzelnen Bohrungen und in den verschiedenen Bohrgebieten zahlenmäßig nur für den Einzelfall durchführen. Darüber hinaus ist nur eine allgemeinere Beurteilung möglich, die folgendes Bild ergibt. Gegenüber dem Dampfantrieb zeichnen den Antrieb durch Dieselmotor der leichtere Aufbau der gesamten Einrichtung, die wesentlich niedrigeren Brennstoffkosten, der Wegfall der dort sehr großen, oft nur schwer zu beschaffenden Wassermengen, die stete Betriebsbereitschaft und die Ungefährlichkeit besonders aus und erweisen ihn jenem überlegen. Dem Elektromotor gegenüber sind die Unabhängigkeit von einer Stromversorgung und die höhere Betriebssicherheit als wichtigste Vorzüge anzusehen, die dem Dieselmotor wenigstens für Schürfbohrungen und für Bohrungen in wenig erschlossenen Gebieten eine Ueberlegenheit geben. Mit dem immer weiteren Zurücktreten des Dampfantriebs wenigstens in ausländischen Bohrgebieten und der Weiterentwicklung des Dieselmotorantriebs ist auch im Tiefbohrbetrieb mit einer steigenden Verbreitung dieses Motors zu rechnen, der neben dem Elektromotor das in Zukunft vorherrschende Antriebsmittel zu werden verspricht. Wenn es gelingt, das in einfachen Einrichtungen gereinigte Roherdöl als Brennstoff zu verwenden und eine Motorform zu schaffen, bei der eine schnelle, leichte Umstellung auf Erdgasbetrieb möglich ist, zwei Ziele, die schon bis zu einem hohen Maße erreicht wurden, wird die Verbreitung des Dieselmotors noch beschleunigt werden.

Abschließend sei noch auf die Verwendung des Dieselmotors auch für die anderen Bohrverfahren ein Blick geworfen. Da bei ihnen die an den Antrieb gestellten Anforderungen zwar andere, aber keineswegs schwierigere sind als bei dem Rotaryverfahren, bei dem die Eignung des Motors für den Bohrbetrieb erbracht ist, wird auch bei ihnen mit einer wachsenden Verbreitung des Dieselmotors gerechnet werden müssen.

Wenn es gelang, die bei der Verwendung von Dieselmotoren maßgebenden Gesichtspunkte, das Wesen dieser Antriebskraft und die erzielten und erzielbaren Ergebnisse in diesem engen Rahmen so weit zu beleuchten, daß wenigstens ein erster Ueberblick über diese Verhältnisse ermöglicht wurde, ist die Aufgabe dieser Arbeit erfüllt.

BOHRKRAFTSTATIONEN.

Allgemeines.

Die Versorgung der Bohrungen mit elektrischem Strom erfolgt bei rein elektrischem Betriebe entweder aus öffentlichen Netzen oder durch eigene Kraftwerke. Während die erstere Versorgungsart von dem Vorhandensein solcher Netze in nicht zu weiter Entfernung vom Ort der Bohrung abhängt, wird die Errichtung eigener Kraftwerke erst dann lohnend, wenn kein öffentliches Netz in erreichbarer Nähe zur Verfügung steht, der elektrische Betrieb aber aus wirtschaftlichen Gründen für den Aufschluß eines größeren Bohrfeldes durchgeführt werden soll.

Die Versorgung aus öffentlichen Netzen soll hier nicht behandelt werden. Ein kurzer Ueberblick soll nur von der Anlage solcher Kraftstationen gegeben werden, die hauptsächlich für den Bohrbetrieb und seitens der Bohrunternehmungen erfolgen.

Ortsfeste Anlagen.

Die Errichtung eigener Kraftstationen für den Bohrbetrieb ist in relativ geringem Umfange erfolgt, da sich durch den Aufschluß eines Bohrfeldes durch oft sehr viele einzelne Unternehmer verständliche Schwierigkeiten ergeben. Die Stromversorgung aus eigenen Werken ist in größerem Umfange nur in Rumänien erfolgt, wo als Brennstoff für die Antriebsmaschinen das in reichlichem

Maße verfügbare Erdgas verwendet wird. Für Erdölbohrfelder, auf denen schon produziert wird und mit einem weiteren Aufschluß zu rechnen ist, kann diese Antriebsart das wirtschaftlichste System sein. Für solche Anlagen ist der Betrieb mit Dieselmotoren gleichfalls gut geeignet. Ihre Verwendung ergibt einen gegenüber dem Antrieb mit Dampfmaschinen oder Dampfturbinen sehr einfachen Aufbau und niedrige Betriebskosten. Die Leistungsanforderung, die stets sehr starken Schwankungen unterliegt, läßt sich bei Motorenantrieb zudem besser befriedigen, da durch das schnelle Ab- und Zuschalten eines oder mehrerer Motoren ein elastischerer Betrieb gesichert ist. Auf die technische Ausgestaltung derartiger Kraftstationen kann hier nicht näher eingegangen werden, sie ist nicht Sache des Bohrbetriebes, sondern der den Bau ausführenden Firmen.

Ortsbewegliche Anlagen.

An diese Stelle gehört eine Anlageart, die erst vor kurzem entwickelt wurde. Die Aufstellung von Erdölbohrungen im Küstengebiet Südlouisianas bereitete lange Zeit große Schwierigkeiten, da ein großer Teil der Bohrungen nicht auf festem Land, sondern in den Küstensümpfen erfolgt. In diesen erwies sich die Aufstellung der umfangreichen und schweren Dampfantriebseinrichtung nur mit größten Schwierigkeiten durchführbar, der rein elektrische Antrieb mußte ausscheiden, da in diesem Gebiet eine Stromversorgung aus den weit nördlich gelegenen Ueberlandnetzen zu große Schwierigkeiten und Kosten verursacht hätte. Eine einfache Lösung fand man in dem Diesel-elektrischen Antrieb von einer auf einem Schiff aufgestellten Kraftanlage[11]) aus. Eine wegen des niedrigen Wasserstandes flachgehende Barke wurde zu einem Kraftwerk umgebaut, in dem zwei Dieselmotoren zum Antriebe zweier elektrischer Generatoren dienen. Der von ihnen erzeugte Strom wird durch Kabel auf den Bohrturm geleitet, dessen Bohreinrichtung von Elektromotoren angetrieben wird. Die Barke enthält außer dem Motorenraum noch eine Werkstatt, sowie Wasch- und Umkleideräume für die Bohrmannschaft.

Durch die Verwendung eines Wasserfahrzeuges wird einmal eine Unabhängigkeit von dem bei Ebbe und Flut verschiedenen Wasserstand erreicht, andererseits ein sehr leichter, billiger Transport der Antriebseinrichtung an einen neuen Bohrplatz erzielt. Es ist anzunehmen, daß derartige Einrichtungen, die für die Bohrungen in Seen oder im Meer bestens geeignet sind, öfter Anwendung finden werden, und daß durch sie ein neues Verwendungsgbiet für den Dieselmotor eröffnet wurde. Daß dieser wegen seines geringen Brennstoffverbrauches und des billigen Betriebes für solche Anlagen das wirtschaftlichste Antriebsmittel darstellt, ist verständlich.

Diese Anlage zeigt die in besonderen Fällen sehr gute Eignung der elektrischen Uebertragung für Dieselmotorantrieb, auf die schon vorn hingewiesen wurde.

PUMPSTATIONEN.

1. Allgemeines.

Die Fortleitung des auf ergiebigen Erdölfeldern gewonnenen Erdöls zum nächsten Verkaufs- oder Umschlageplatz durch Fahrzeuge erwies sich oft wegen der sehr großen fortzuführenden Mengen als unangängig. Bekannt ist die Aufsehen erregende erste Anlage einer größeren Rohrleitung zum Transport des gewonnenen Erdöls durch den Kaukasus von Baku nach Batum. Diese Art der Fortleitung ist, besonders in den Vereinigten Staaten, zu außerordentlicher Bedeutung gelangt. In den Vereinigten Staaten sind derartige Leitungen, die pipe lines, von einer Reihe, zum großen Teil eigens dazu gegründeter Gesellschaften schon in einer Gesamtlänge von mehr als 138 000 km verlegt und in Betrieb genommen worden. Schon diese außerordentlich hohe Zahl zeigt die bedeutende wirtschaftliche Stellung dieses Gebiets.

Zur Bewegung des Erdöls durch diese Leitungen dienen Pumpanlagen. Die bis zu mehreren hundert Kilometer langen, oft über Gebirge in zahlreichen, unvermeidlichen Krümmungen verlegten Leitungen verlangen die Anlage einer mehr oder weniger großen Anzahl einzelner Pumpstationen, die dem Druckverlust in der Leitung entsprechend an bestimmten Stellen angelegt werden.

Die Größe der Leitungen und der Pumpstationen ist sehr verschieden und von der Anzahl und Förderung der angeschlossenen Bohrungen abhängig.

2. Antriebsmittel.

Als Pumpen dienten zuerst Dampf-Kolbenpumpen, die jedoch außer niedrigem thermischen Wirkungsgrad hohe Anschaffungskosten wegen der Kesselanlage und hohe Betriebskosten für die Bedienung erbrachten. Auch die an die Stelle der Dampfmaschinen getretenen langsam laufenden Verbrennungsmotoren brachten keine wesentliche Verbesserung, da sie große Kosten für Anschaffung, Transport und Aufstellung bedingen. Man ging deshalb von den Kolbenpumpen zu den wesentlich leichteren, schnelleren Kreiselpumpen über, die von Elektromotoren angetrieben wurden. Diese Anlagen erfordern nur niedrige Anschaffungskosten. Die hiermit erzielten Vorteile wurden jedoch durch die hohen Betriebskosten wieder aufgezehrt. Diese sind dadurch begründet, daß meist sehr lange Stromzuführungsleitungen verlegt werden müssen, deren Abschreibung die laufenden Kosten auch bei mehrjährigem Betriebe sehr erhöht. Nachteilig sind auch die häufige Beschädigung dieser Leitungen durch Naturereignisse und die dadurch verursachten Störungen und Instandsetzungen. Mit der Entwicklung schnellaufender Dieselmotoren ist man deshalb in weitgehendem Maße zu diesen Motoren übergegangen.

Die für den Leitungsbetrieb mit Dieselmotorantrieb erzielbaren Vorteile sind in der Hauptsache:

1. Niedrige Betriebskosten.
2. Schnelle, leichte und billige Aufstellung.
3. Aufstellungsmöglichkeit an Orten, an denen eine Stromversorgung fehlt, deren Neuanlage jedoch zu teuer wäre.
4. Aufstellungsmöglichkeit an Orten, an denen kein oder nur sehr schlechtes Wasser zur Verfügung steht.

5. Leichte und wirtschaftliche Drehzahländerung.
6. Keine Kosten, wenn die Anlage nicht arbeitet.
7. Einfache Brennstoffversorgung durch Betrieb mit dem aus der Leitung entnommenen Rohöl.

Der Dieselmotorbetrieb weist also für den Leitungsbetrieb gegenüber den anderen Antriebsmitteln mancherlei Vorteile auf und wird deshalb in der Zukunft weitere Fortschritte machen.

Literaturnachweis.

[1]) Jeffery, Deep Well Drilling, Houston (Texas), 1931.
[2]) Glinz, Die Gewinnung des Erdöls durch Bohren, Leipzig, 1932.
[3]) Herrick, Flow of Drilling Mud, The Oil Weekly, Bd. 65, Nr. 11.
[4]) Steiner, Tiefbohrwesen, Förderverfahren und Elektrotechnik in der Erdölindustrie, Berlin, 1926.
[5]) Krekler und Besigk, Betrachtungen über die wirtschaftliche Ausnützung neuzeitlicher Rotarytiefbohreinrichtungen, Intern. Z. Bohrtechn., Bd. 50, Nr. 12.
[6]) Black, Diesel generated electric power practical for deep drilling, The Oil Weekly, Bd. 61, Nr. 5.
[7]) Logan, Diesel drilling unit efficient, when fuel oil is costly and water scarce, The Oil Weekly, Bd. 65, Nr. 8.
[8]) Roessing, Erfahrungen mit Dieselmotoren beim Rotarybohren, Petroleum, Bd. 28, Nr. 31.
[9]) Tiuka, Rotarytiefbohreinrichtungen mit direktem Wellenantrieb, Intern. Z. Bohrtechn., Bd. 41, Nr. 6.
[10]) Grant, Direct current drive late development in oil well drilling, The Oil Weekly, Bd. 62, Nr. 9.
[11]) Floating power plants meets coast swamp conditions, The Oil Weekly, Bd. 61, Nr. 11.

INHALTSANGABE

	Seite
Vorwort	1
Der Dieselmotor	1
Das Rotaryverfahren	6
Der Dieselmotor als Antrieb für das Rotaryverfahren	8
1. Anordnung der Antriebseinrichtung	8
2. Dieselmotorantrieb mit mechanischer Uebertragung	9
3. Dieselmotorantrieb mit elektrischer Uebertragung	13
4. Dieselmotorantrieb mit hydraulischer Uebertragung	15
5. Abwärmeverwertung	18
6. Dieselmotorantrieb für andere Zwecke	18
7. Zusammenfassung	19
Bohrkraftstationen	19
Pumpstationen	20

Lebenslauf.

Am 1. September 1904 als Sohn des Kaufmanns Stanislaus O. Sirot in Klein Gandau bei Breslau geboren. Ostern 1911 bis Ostern 1921 (Obersekunda) Besuch des König-Wilhelms-Gymnasium in Breslau. Bis Ostern 1923 bei dem Reichsbahn-Ausbesserungswerk 1 tätig. Nach Vorbereitung an Privatschule und St. Elisabeth-Gymnasium in Breslau Ostern 1925 Reifeprüfung. Von da ab Studium an der Technischen Hochschule Breslau, Fachrichtung Maschinenwirtschaft. 29. Juni 1929: Diplom-Hauptprüfung. Von Januar 1930 bis Juni 1932 als Konstrukteur und im Betriebe der Carlshütte AG, Waldenburg, tätig. Von da ab mit der Ausführung vorliegender Dr.-Arbeit im Aufbereitungsinstitut der Technischen Hochschule Breslau, Direktor: o. Professor Dr.-Ing. W. Groß, beschäftigt.